

REINFORPLAST  
FABRIPLAST

# Symposium Reinforplast '80

FRP シンポジウム 1980

DEPARTMENT OF DEFENSE  
ARMY TECHNICAL EVALUATION CENTER  
FORT MONROE, VIRGINIA 22034

27 & 28 / 5 / 1980

19960229 044

NOT FOR RELEASE

PLASTED



## Reinforplast '80 Symposium

FRP シンポジウム 1980

Glass-fibre reinforced plastics:  
a contribution to Economy

Les Plastiques renforcés de fibres de verre au  
secours de l'Economie

Met glasvezel versterkte kunststof in dienst  
van de Economie

Glasfaserverstärkte Kunststoffe als Mittel  
zur Wirtschaftlichkeit

DEPARTMENT OF DEFENSE  
PLASTICS TECHNICAL EVALUATION CENTER  
ARRADCOM, DOWR. H. J., 02801

27 & 28 / 5 / 1980

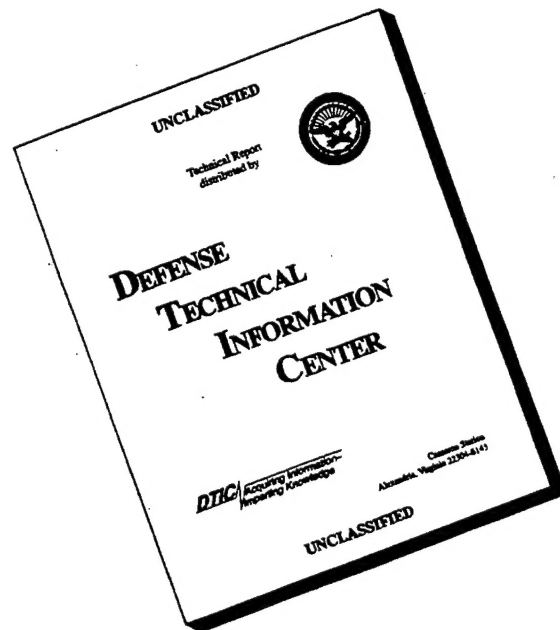
期間・・1980年5月27日～28日

Maison de la Culture et Centre de Congrès de  
Woluwe-Saint-Pierre, av. Ch. Thielemans, 93  
1150 Bruxelles

Huis van Cultuur en Congrescentrum van  
Sint-Pieters-Woluwe, Ch. Thielemanslaan, 93  
1150 Brussel



# DISCLAIMER NOTICE



**THIS DOCUMENT IS BEST  
QUALITY AVAILABLE. THE  
COPY FURNISHED TO DTIC  
CONTAINED A SIGNIFICANT  
NUMBER OF PAGES WHICH DO  
NOT REPRODUCE LEGIBLY.**

PROGRAMME - PROGRAMMA - PROGRAMM

---

27 / 5 / 1980

MORNING

=====

- 8.30 Registration and welcome of the participants. Distribution of the documents
- 9.15 Opening address by Mr. A. ORLIANS, President of Reinforplast, President of GPRMC,  
General Manager of Orli plast,  
Mechelen, Belgium
- 9.30 Le PRV et les programmes d'économie d'énergie  
GRP for energy management and savings  
Dr. N. SPRECHER, Market Development Manager Anti-Corrosion  
Owens-Corning Fiberglas Europe, Brussels, Belgium
- 9.50 Milieutechnische aspekten rond de verwerking van onverzadigde polyesterharsen  
Technical aspects of environmental protection during processing of unsaturated  
polyester resins  
Ing. G. BRUGMAN, L.I.R.I., Technical Service Manager  
Synres, Hoek van Holland, The Netherlands
- 10.10 Means to reduce atmospheric pollution in open mould production  
Mr. P. NYLANDER, Laboratory Manager 43299  
AB Syntes, Nol, Sweden
- 10.30 Coffee break
- 11.00 The monoform system *RTM*  
Mr. J. COUDENHOVE, Managing Director 43300  
J. Coudenrove, Wien, Austria
- 11.20 Future prospect of market requirements and smc developments for automotive  
application in Europe  
Mr. G EHNERT, Leiter der Entwicklung und Materialkontrolle  
Menzolit-Werke, Kraichtal/Menzingen, Germany
- 11.40 Tensile fatigue of smc compositions  
Mr. F. McGARRY, Professor of Polymer Engineering 43301  
M.I.T., Cambridge/MA, U.S.A.
- 12.00 - 14.00 Lunch time

AFTERNOON

=====

- 14.00 The role of reinforced composite systems in lowering energy input in construction  
Ing. G.A. PATFOORT, Professor Nationaal Hoher Instituut voor Bouwkunst en Stedebouw  
Antwerpen, Belgium  
Project Coordinator - UNIDO, Wien, Austria

- 14.20 Designing economically with glass fibre reinforced plastics  
Ing. A.P. OOSTEN, Adviesbureau Arnhem,  
Arnhem, The Netherlands

43302

and

Quality assurance of glass fibre reinforced plastics  
Ir. B.J. van STEIJN, Adviesbureau BAK - Nederland  
Schiedam, The Netherlands

- 14.40 Les grandes structures hydrauliques face aux résines armées  
Large hydraulic structures and reinforced resins  
Dr. Ir. M SANDER, Assistant,  
Université de Liège, Belgium
- 15.00 Bauelemente aus GFK - wirtschaftlich, umweltfreundlich und energiesparend  
GRP Construction elements : how to economize, care for the environment and  
save energy  
Ir. H. HOLLENBERG, Verkaufsleiter - Abteilung Bausysteme  
Grillo-Werke, Voerde, Germany
- 15.20 Comparaison des procédés de moulage : contact, injection sous vide, injection  
Comparison of moulding procedures : hand lay-up, injection under vacuum and  
injection  
Mr. A. CHEVALIER, Chef technico-commercial,  
Vetrotex Saint-Gobain, Chambéry, France
- 15.40 Coffee break
- 16.00 - 18.00 Poster communications session

see page IV for the list of the posters

28 / 5 / 1980

MORNING  
=====

- 9.30 Un nouveau procédé de revêtement des isolations industrielles : "le plastique armé",  
associé aux économies d'énergie  
A new insulation concept based on GRP for industrial pipings and the energy saving  
Ir. A. GUINAUD,  
Wanner Isofi, Rueil Malmaison, France

- 9.50 GRP based equipments provides economical and technical advantages for the metal  
and mining industries  
Ing. P.D. SCHELLINCK, Assistant Sales Manager  
Atlas Chemical Industries, Everberg, Belgium

43303

- 10.10 Neue Erkenntnisse bei der Härtung dickwandiger GF-UP-Formteile  
New aspects of the hardening of thick GRP-mouldings  
Mr. A. MAXSTADT, Anwendungstechnik Härtung UP-Harze  
Peroxyd-Chemie, Hölriegelskreuth bei München, Germany
- 10.30 Coffee break
- 11.00 Renforcement des bétons de résine par les fibres de verre  
Glass-fibre reinforcement of resin concretes  
Mr. C. MICHAUX, Chargé de Recherches Principal, Section Polymères  
Institut National des Industries Extractives (INIEX), Liège, Belgium
- 11.20 Een alternatief glasvezelversterkt materiaal  
An alternative glass-fibre reinforced material  
Mr. R.D. OOSTERHOFF, Commercieel Technicus  
Silenka, Hoogezand, The Netherlands
- 11.40 Non-woven resin carrier for FRP-cores  
Mr. E. HARTOG, Product Manager COREMAT  
Firet b.v., Veenendaal, The Netherlands

12.00 - 14.00 Lunch time

#### AFTERNOON

=====

- 14.00 GRP - Contribution to a developing economy  
Mr. J. LAKHANI, Works Manager,  
Roplas (India) Limited, Poona, India
- 14.20 GRP in Japan - present and future  
Mr. E. SHIN, Marketing Manager  
Asahi Fiber Glass Co., Ltd, Tokyo, Japan
- 14.50 Earth quake-proof test of sectional water tank  
Mr. HAGA  
Bridgestone Tire Co., Ltd, Tokyo, Japan
- 15.20 GRP in Japan, a contribution to economy : Cost-performance analysis for GRP  
Mr. T. KITAMURA, Market Research and Analysis Manager  
GRP Society of Japan
- 15.50 Conclusions by Mr F. VIDOUSE, C.R.I.F., Belgium, Mr. H. JANSSENS, N.V.F.K.,  
The Netherlands and Mr. A. ORLIANS and panel members
- 16.30 Coffee break
- 16.45 - 18.00 Poster communications session

see page IV for the list of posters

Five minutes discussion time is included in the contributor's speaking time  
Une discussion de cinq minutes est prévue dans le temps réservé à chaque orateur  
Een vijf minuten lange bespreking is voorzien binnen de tijdsperiode die aan elke spreker  
toegekend wordt  
Innerhalb der jedem Vortragenden gewährten Zeit sind fünf Minuten Diskussion vorgesehen

Simultaneous translation available for English and French.

## P O S T E R   C O M M U N I C A T I O N S

---

1.     Injection processing of polyester dough moulding compounds  
        Dr D. PENNINGTON, Research Scientist  
        Pilkington Bros. Limited, StHelens, England
  
2.     La réaction au feu de stratifiés polyesters  
        Fire resistance of fibre glass reinforced polyesters  
        Mr. W. FASSOTTE, Chargé de recherches principal,  
        INIEX, Liège, Belgium
  
3.     Experimental study of the nonlinear behaviour of composite panels  
        Dr W.M. BANKS, Dept. of Mechanics of Materials,  
        University of Strathelyde, Glasgow, U.K.
  
4.     Amélioration des propriétés mécaniques à long terme en vue de l'élimination  
        du perlage dans les tuyauteries en plastique renforcé de fibres de verre pour  
        le transport et la distribution d'eau chaude sous pression - chauffage urbain  
        Trials to eliminate the weeping in GRP piping for pressure hot water transport  
        and distribution (urban heating)  
        Mr. C. RENAUD, Applications Development, Anti-corrosion section Manager  
        Owens-Corning Fiberglas Europe, Battice, Belgium
  
5.     Der 4-Punkt-Biegeversuch mit einfachen Mitteln - eine Methode zur  
        Vordimensionierung und Qualitätskontrolle  
        The 4-point bend test with simple means - a method for pre-demensioning and  
        quality control  
        Mr. R. MÜLLER  
        Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA)  
        Abteilung Kunststoffe, Dübendorf, Switzerland
  
6.     Extreme Leichtbauweise für GFK, System Uniport (CH Patent)  
        Lightweight construction for GRP, the Uniport system (CH Patent)  
        Mr. Th. HIRZEL, Head of Uniport  
        Rudolfstetten, Switzerland
  
7.     Produktion v. stranggezogenen GFK- Profilen und Anwendungen solcher Profile  
        GRP- Profiles by pultrusion and their end uses  
        Mr. G. WINDISCH, Geschäftsführer  
        Faserplastik Kunststoffe GmbH & Co., KG, Wien, Austria
  
8.     Microcomputer controlled filament winder  
        Mr. J. KÖBER, Sales Manager  
        McClean Anderson, Milwaukee/Wisc., U.S.A.

EXPOSITION - TENTOONSTELLING - EXHIBIT - AUSSTELLUNG

---

A.C.S.

AKZO-CHEMIE

ATLAS CHEMICAL

J. COUDENHOVE

DU PONT DE NEMOURS BELGIUM

GRILLO-WERKE

ORLIPLAST

OWENS-CORNING FIBERGLASS

POLYMETAL

SOCOMER

VETROTEX

VYNCKIER

Liste alphabétique des exposants

Alphabetical list of exhibitors

Alphabetische lijst van tentoonstellers

Alphabetisches Ausstellerverzeichnis

## PRACTICAL INFORMATION

### Photographs

Photographs will be taken during the symposium and may be ordered at the Congresscentre of Woluwé St Pierre on wednesday 28th May.

### Simultaneous translation

Head-phones for simultaneous translation will be at disposal of the congressists; those who need one will find it at the cloakroom.

Very important notice : the head-phones must be handed back at the end of each day at the same place in the cloakroom. Be careful not to loose them, please!

In case of loss of any of the cards required for the lunches or the dinner, at the Amigo Hotel, or for the head-phones, please apply to the welcome desk of the symposium

#### MESSAGE DU PRESIDENT

C'est pour moi un grand plaisir de vous présenter les textes des conférences du 1er Symposium "REINFORPLAST 80".

Je profite de cette occasion pour remercier les collègues de la N.V.F.K. (Pays-Bas) avec qui nous avons conclu un accord bilatéral pour l'organisation à tour de rôle de journées d'études "Plastiques renforcés" au niveau Bénélux.

Nous osons espérer que cet exemple puisse un jour porter ses fruits au niveau européen, permettant ainsi une action d'information plus rationnelle de tout notre secteur.

L'effort consenti par notre Association belge mérite d'être souligné et nous sommes persuadés que nos membres pourront bénéficier de la confiance de la clientèle qui pourra évaluer l'information objective à sa juste valeur.

Je tiens à remercier personnellement tous les conférenciers, les exposants et ainsi que toutes les personnes ayant collaboré pour mener notre Symposium à bonne fin

\*  
\*   \*

#### BOODSCHAP VAN DE VOORZITTER

Ik heb het genoegen U de teksten voor de lezingen op het 1ste Symposium "REINFORPLAST 80" voor te leggen.

Bij deze gelegenheid pasteen woord van dank aan de collega's bij de N.V.F.K. (Nederland) ; met hen hebben wij afgesproken om beurtelings studiedagen over versterkte kunststoffen op Benelux-niveau te organiseren.

Wij durven hopen dat dit voorbeeld ooit eens navolging vindt in Europees verband, zodat het tot een rationelere informatie-actie voor onze gehele sector kan komen.

De bemoeiingen van onze Belgische Vereniging verdienen speciale lof en wij zijn overtuigd dat onze leden baat zullen hebben van de klanten, die de objectieve informatie op hun juiste waarde zullen kunnen schatten.

Ik spreek mijn dank uit aan elk van de sprekers, exposanten en andere personen die hun medewerking hebben verleend om dit Symposium in goede banen te leiden.

A. Orlians



## MESSAGE FROM THE PRESIDENT

It is a great pleasure for me to lay before you the papers for the first "REINFORPLAST 80" symposium.

I would like to take the opportunity to thank our colleagues at the N.V.F.K. (Netherlands) with whom we have made a bilateral agreement for the organisation, in turn, of days of study in the Benelux countries devoted to "reinforced plastics".

We dare to hope that this example may one day bear fruit at European level, thus paving the way for a more rational information campaign for the whole of our sector.

It is worth underlining the efforts made by our Belgian Association, and we are convinced that our members will be able to benefit from the confidence shown by their customers, who will be in a position to judge the objective information for what it is really worth.

I would like to make a point of extending my personal thanks to all the conference participants, the exhibitors and all those who have helped to make our Symposium a success.

\*  
\*   \*

## MITTEILUNG DES PRÄSIDENTEN

Es ist für mich eine besonders grosse Freude, Ihnen die Texte der Vorträge des 1. Symposiums "REINFORPLAST 80" vorlegen zu können.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich den Kollegen von N.V.F.K. (Niederlande) danken, mit denen wir übereinkamen, die Studientage "Verstärkte Kunststoffe" abwechselnd innerhalb des Beneluxbereiches zu organisieren.

Wir hoffen, dass dieses Beispiel eines Tages auf europäischer Ebene von Erfolg gekrönt sein wird, um eine rationalere Information unseres gesamten Sektors sicherstellen zu können.

Die Bestrebungen unseres belgischen Verbandes verdienen besondere Anerkennung und wir sind überzeugt, dass unsere Mitglieder in den Genuss des Vertrauens unserer Kundschaft gelangen werden, welche die objektive Information ihrem Werte entsprechend einzuschätzen verstehen wird.

Ich danke persönlich allen Konferenzteilnehmern, den Vortragende sowie all jenen, die zu einem erfolgreichen Ablauf unseres Symposiums beigetragen haben.

A. Orlans

C O N F E R E N C E S

---

## LE PRV ET LES PROGRAMMES D'ECONOMIE D'ENERGIE

### GRP FOR ENERGY MANAGEMENT AND SAVINGS

Dr N. SPRECHER

Market Development Manager Anti-Corrosion

Owens-Corning Fiberglas Europe, Brussels, Belgium

#### RESUME

Depuis la fin de 1973, les programmes d'économie d'énergie sont à l'ordre du jour. D'une façon parallèle, les PRV participent de plus en plus à des projets importants dans le domaine des économies d'énergie. Nous passons en revue les applications où les PRV contribuent de façon efficace à de tels projets d'économie d'énergie. En particulier, nous illustrons l'utilisation accrue des PRV dans des programmes de chauffage urbain, d'énergie géothermique, éolienne, solaire, thermique des océans et des marées.

#### SUMMARY

By the end of 1973, energy had become the headline story, and that is still the case today. In roughly the same period, GRP has often been selected for projects designed to save energy. A review of the principal areas of development in the energy management market is offered and will cover more specifically the increasing use of GRP in urban heating, geothermal, wind, solar, tidal and ocean thermal energy conversion projects.

## LE PRV ET LES PROGRAMMES D'ECONOMIE D'ENERGIE

Dr. N. SPRECHER

Market Development Manager Anti-Corrosion

OWENS-CORNING FIBERGLAS' EUROPEAN OPERATIONS  
Bruxelles, Belgique

### 1. INTRODUCTION

Les récents événements internationaux ne laissent guère de doute sur la gravité de la situation énergétique mondiale.

Pour faire face à cette situation, les Gouvernements occidentaux, dès 1974, ont décidé de mettre l'accent sur deux types de programmes énergétiques :

- . la production rationnelle d'énergie
- . les économies d'énergie.

Les plastiques renforcés de fibres de verre (PRV) ont souvent été choisis pour des projets visant à économiser l'énergie.

Le présent exposé illustre l'utilisation accrue des PRV dans des programmes de chauffage urbain, d'énergie géothermique, éolienne, solaire, thermique, des océans et des marées. Il couvre également l'application des PRV dans des modes de production d'énergie déjà plus traditionnels, telles les centrales thermiques et nucléaires. Par ailleurs, les écailles de verre Flakeglas<sup>(R)</sup> permettent de formuler des revêtements "anti-corrosion" très performants qui contribuent à des économies d'énergie importantes, notamment dans le domaine du transport maritime.

### 2. LE CHAUFFAGE URBAIN

Les systèmes d'alimentation en chaleur et en électricité constituent l'une des principales sources de pollution thermique et atmosphérique ainsi que l'une des principales sources de gaspillage d'énergie de notre société moderne.

Un rapport récent d'un groupe d'experts de la Commission de Bruxelles pour l'étude des modalités d'une croissance économe en énergie montre qu'il s'agirait moins d'économiser l'énergie dans des conditions générales de gaspillage relatif que de promouvoir ce que nous appelons une "utilisation rationnelle de l'énergie". La production combinée de chaleur et d'électricité figure parmi ces procédés d'utilisation rationnelle de l'énergie. La chaleur ainsi produite peut être récupérée avantageusement sous forme de chaleur à basse température, pour le chauffage domestique, le chauffage des locaux et de l'eau ou à des fins industrielles ou autres, telles que l'agriculture thermique et l'aquaculture.

Alors que le chauffage urbain n'est pas un concept nouveau (voir les anciens

réseaux de Verviers, en Belgique, par exemple), son utilisation va se développer rapidement en raison de l'évolution galopante du prix élevé des combustibles. Alors qu'il existe en Europe un réseau bien établi pour la transmission et la distribution de l'électricité, il n'en existe pas, en général, pour la chaleur. Il faut le créer. La tuyauterie constitue un élément clef (+ 85 % du coût de l'investissement total). Les équipements en plastique armé de fibres de verre constituent une solution nouvelle économique et fiable pour aider au développement de ces technologies du transport d'eau chaude à distance (pas de caniveaux, pas de lyres de dilatation thermique, facilité d'installation, pas d'entretien, etc...).

## 2.1 LE DEVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE URBAIN DANS LA COMMUNAUTE EUROPEENNE

En 1978, 600 compagnies distribuaient plus de 10 MM TEP de chaleur à travers 1000 réseaux de chauffage urbain; ceux-ci représentaient une longueur totale de 9 000 km de réseau principal.

Plus de la moitié de cette chaleur était utilisée en République Fédérale d'Allemagne; un peu moins du 1/3 au Danemark; le reste se répartissait entre la France (10 %), la Hollande (3 %), la Belgique (2 %), l'Italie et la Grande-Bretagne (0.2 - 0.3 %).

Dans les années précédant la crise énergétique, la croissance annuelle de demande en chaleur au départ de réseaux de chauffage urbain atteignait jusqu'à 10 % et plus. On peut s'attendre à des croissances plus importantes dans l'avenir.

Au Danemark, on prévoit d'accroître par un facteur 2 d'ici 1985 et 3 pour 1995 la chaleur fournie par les centrales d'énergie, couvrant ainsi 17 % des besoins de la nation en chauffage de locaux.

En République Fédérale d'Allemagne, une étude terminée en 1977, prévoit un programme d'aide et de soutien très important des autorités fédérales et régionales aux projets de développement de chauffage urbain.

En France, une nouvelle législation est mise en place en vue d'établir une structure officielle et développer un réseau de chauffage urbain.

En Belgique et au Luxembourg, on retrouve un intérêt considérable dans le développement d'un réseau de chauffage urbain et des projets précis se dessinent.

La Hollande se cantonne à ses découvertes de gisement de gaz et n'investit guère dans le domaine du chauffage urbain pour le moment du moins.

Un élément important dans le développement futur du chauffage urbain en Europe sera la coopération constructive et étroite entre l'industrie productrice d'électricité et les opérateurs des réseaux de chauffage urbain. Les meilleurs résultats sont à prévoir quand les deux fonctions sont réunies dans un même organisme.

Le Tableau 1 résume la situation en Europe en avril 1979.

Tableau 1

## TABLEAU COMPARATIF DES POLITIQUES RESPECTIVES DES DIFFERENTS PAYS EUROPEENS DANS LE DOMAINE DU CHAUFFAGE URBAIN

SUEDE	PAYS - BAS	DANEMARK	GRANDE-BRETAGNE	ITALIE	FRANCE	ALLEMAGNE	BELGIQUE
PRODUCTION ET DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ							
Liberté 55% Communes et privé État 45% en tout, une dizaine d'unités de production. Privé 500 distributeurs Coopérative État 65% Communes	90 % des besoins énergétiques assurés par le gaz naturel. 430 compagnies distributrices.	Libre. Essentiellement communale. 430 compagnies distributrices.	"The Central Electricity Generating Board". British Electricity Authority de l' "Electricity Council" 12 sociétés sous le contrôle et du "Central Electricity Generating Board".	A quelques exceptions près, sont nationalisées. Monopole de l'E.N.E.L. Dérogations dans certains cas : exemple : BRESCTA.	Quelques petits producteurs, principalement E.D.F. Monopole d'État E.D.F.	Principalement communal - possibilité d'extension de cette législation à la chaleur. Loi du 14 avril 1977.	Production : principalement intercommunales et sociétés privées ou mixtes. Distribution : essentiellement par les intercommunales. → possibilité d'élargir le champ d'application à la chaleur.
ÉTAT DES PROJETS DE LEGISLATION CONCERNANT LA PRODUCTION ET LA DISTRIBUTION DE CHALEUR							
Projet de législation en gestation.	Projet de loi sur les économies d'énergie actuellement à l'étude.	Projet de législation doit sortir incessamment.	"Local Government Bill" (réglementant toute l'organisation de l'électricité en G.B.) en discussion devant le parlement.	Projet de loi à l'étude.	Projet GRAUD en discussion actuellement au Parlement.	Projet de loi sur le chauffage urbain + nouvelle loi sur les besoins d'énergie dans les habitations (207 1976) Loi du 01.04.1977 visant à étendre la réglementation gaz électricité au chauffage urbain en l'adaptant.	Projet de la S.D.R.N. Actuellement, pas d'autres réglementations en gestation.
POURCENTAGE ACTUEL DE CHAUFFAGE URBAIN							
+ 25 % des habitations chauffées de cette manière.	Quelques expériences limitées à : - UTRECHT - ROTTERDAM - LEIDEN - DEN HAAG	10 % des besoins en chaleur.	10 % des possibilités employées à l'heure actuelle.	Principale expérience : BRESCTA.	Principale expérience Paris : C.P.C.U.	10% des besoins en chaleur du pays.	Marginal - Expériences à - Verviers - DROUXHE - GEMT - CHARLEROI - Alost
ÉVALUATION DE LA PROGRESSION							
15 % par an.	600.000 habitations raccordées d'ici 1 <sup>er</sup> an 2000.	Arriver à assurer la plus grande partie de la demande en chaleur (représente la 1/2 du total énergie primaire utilisée)		110.000 des 400.000 logements de BRESCTA devront être chauffés de cette manière. Augmentation de 47 / an.	Le programme d'économie d'énergie prévoit 15% des besoins d'ici 1985.	12% des besoins en 1980.	Pas défini.
RACCORDEMENT AU RESEAU							
Nouveaux quartiers : pas d'obligation mais des contraintes (refus du permis de bâtir si on recourt à un chauffage individuel/ne peut bénéficier des prêts à bas intérêt). Habitations existantes : pas d'obligation mais recours à des arguments de tarification.	Non obligatoire.	Nouveaux quartiers : quasi-obligation. Habitations existantes : pas d'obligation.	Pas d'obligation.	Pas d'obligation de raccordement.	Actuellement. Nouveaux quartiers : parfois rendu obligatoire dans le cahier des charges mais rarement sanctionné. Habitations existantes : pas d'obligation.	Nouveaux quartiers : quasi-obligation. Habitations existantes : très larges incitations au raccordement.	Pas d'obligation.
SUBVENTIONS AU DEGREVEMENT FISCAL SUSCITANT LE RECOURS A LA CHALEUR							
Bénéfice de prêts à bas intérêt. Taxation accrue des autres modes de chauffage.	Rien de prévu.	Le projet de loi prévoit l'octroi d'une prime de remplacement aux propriétaires qui se raccorderaient à un réseau de chaleur.	Pas de subvention.	Pas de subside. Pas de dégrèvement fiscal.	Pas de subvention ou de dégrèvement fiscal actuellement.	Subventions étatiques + subventions des Länder pouvant aller jusqu'à 75% (BERLIN) des coûts + allégement fiscal en faveur des particuliers.	Pas de subventions.

## 2.2 LES PROGRAMMES DE R&D EN EUROPE RELATIFS AU CHAUFFAGE URBAIN ET LE PRV

Le Conseil Européen a recommandé en date du 25 octobre 1977 de prévoir dans chaque Etat membre des comités de promotion du concept de production combinée de chaleur et d'électricité.

Dans ce cadre, la Communauté a lancé son second programme de R & D "Energie" pour la période 1979 à 1983 (150 MM EUA).

Un certain nombre de projets de démonstration acceptés sont relatifs au chauffage urbain ou géothermique. Parallèlement à ces nombreux programmes, diverses recherches ont pour objectif de montrer les avantages de l'utilisation des PRV dans ces applications.

Depuis 1978, et dans le cadre d'un subside IRSIA du Gouvernement belge, Owens-Corning Fiberglas cherche à développer un nouveau concept de tuyau en PRV pour le transport et la distribution d'eau chaude sous pression en résolvant le problème du perlage de telles tuyauteries dans des conditions opérationnelles extrêmes. Des essais de perméabilité et de vieillissement à l'eau chaude (entre 100 et 140°C) ont été réalisés en vue d'étudier l'amélioration apportée par différents types de chemises internes d'étanchéité.

Signalons également un travail de recherche et développement en cours à l'I.K.V. d'Aix-La-Chapelle en R.F.A. visant à développer un tuyau de transport eau chaude en PRV utilisant des résines thermodurcissables très résistantes à haute température (eau très chaude). Les performances obtenues n'étant pas suffisamment encourageantes, les chercheurs de l'I.K.V. se dirigent à présent sur une voie semblable à celle d'Owens-Corning Fiberglas, c'est-à-dire celle d'un chemisage interne au laminé.

Un autre travail de recherche subsidié par le Gouvernement hollandais se poursuit chez un client d'Owens-Corning Fiberglas : la firme Wavin KIS. La direction précise de ce programme de recherche n'est pas divulguée mais le but est de concevoir un "système" très complet et approprié aux applications "chauffage urbain" et basé sur la ligne de produits actuelle de la firme Wavin.

Des programmes de démonstration et de tests se poursuivent dans le cadre de l'A.G.F.W. (Association allemande des producteurs et des distributeurs de chauffage urbain) dans les laboratoires de la T.U.V. à Munich et à la centrale d'énergie de Dinslaken (R.F.A.) (petits diamètres - 130°C - 16 bars - tuyaux PRV, thermoplastique pur ou fretté de PRV).

Un programme analogue se poursuit dans les laboratoires de Studsvik Atom Energi en Suède (grands diamètres - 95°C - 10 bars - tuyaux PRV). Une étude de marché pour situer la compétitivité des tuyaux en PRV par rapport aux matériaux traditionnels sur le marché du chauffage urbain en Allemagne Fédérale est en cours et doit être terminée d'ici 6 mois. Elle nous aidera à situer économiquement le tuyau et les équipements en PRV dans ce marché en explosion.

## 2.3 LE CHAUFFAGE URBAIN : NOUVEAUX DEBOUCHES POUR LE PRV

Au début, les tuyauteries de distribution des réseaux de chauffage urbain étaient réalisées en acier, mais les problèmes soulevés par la corrosion ont conduit de nombreuses autorités locales à regretter leurs décisions initiales. De plus en plus, les tuyaux en plastique renforcé de fibres de

verre figurent dans les cahiers des charges des nouveaux projets allemands de chauffage urbain.

\* AMERON B.V. (Pays-Bas)

Les ingénieurs municipaux de Schwäbisch Hall, en République Fédérale d'Allemagne, ont récemment opté pour des tuyaux en résine époxyde renforcée de fibres de verre.

En réalité, Schwäbisch Hall a choisi le système Epogard\*, en l'occurrence un tuyau Bondstrand\*\* enrobé d'une couche isolante en mousse de polyuréthane, elle-même enfermée dans une gaine en PVC rigide. La conduite est prévue pour véhiculer de l'eau à une température de 70 à 110°C sous une pression pouvant atteindre 10 bars. Les déperditions de chaleur sont minimales grâce à l'utilisation d'une triple couche isolante. Les tuyaux sont livrés en tronçons légers de 6 m de long, ce qui facilite et accélère leur pose, sans nécessiter l'emploi d'appareils de levage coûteux et lourds.

Les tuyaux Epogard offrent plusieurs avantages d'ordre économique. Leurs qualités thermiques garantissent un minimum de pertes de chaleur, même sur de longues distances. La surface interne étant très lisse, les pertes de charge sont plus faibles et le débit est plus élevé, ce qui permet l'emploi de tuyaux de plus petit diamètre. Les assemblages sont plus faciles à réaliser, d'où un gain de temps pouvant aller jusqu'à 15 pour cent. Enfin, les tuyaux étant inattaquables par la corrosion, ils sont capables d'une très longue durée de service, sans entretien.

Un autre exemple de réalisation de réseau de transport d'eau chaude à l'aide des tuyaux Epogard a été réalisé dans la ville historique de Hamlyn en République Fédérale d'Allemagne (Figures 1 & 2). Cette ville se caractérise par des ruelles étroites et serpentées et les ingénieurs devaient y résoudre le problème de pose et d'installation d'un réseau de chauffage urbain. Il fallait un tuyau pouvant être installé dans des tranchées aussi étroites que possible étant donné l'étroitesse des ruelles.

Actuellement 2 km de tuyau Epogard de diamètre 50 à 200 mm alimentent en chauffage urbain (100 - 110°C) quelques 50 familles de la petite ville d'Hamlyn. Ce réseau économise quelques 15 à 25 pour cent de leurs frais de chauffage domestique.

Le coût total du mètre installé pour un diamètre de 150 mm s'élevait à 470 DM, incluant le prix du tuyau, l'enfouissement, les accessoires. Le coût du gros-oeuvre (construction, tranchée et re-surfage) était de 190 DM par mètre pour tous les diamètres. De plus, on a pu protéger l'environnement en minimisant les dégâts dans les rues étroites et en protégeant les conduites utilitaires avoisinantes.

Un nouveau type d'isolation des tuyaux en PVC et mis en place sur site a été utilisé en association avec le tuyau Bondstrand dans un réseau récent du chauffage urbain à Copenhague. Il s'agit de grès expansé, du nom de Leca, obtenu par pyrolyse de granulés de grès à 1150°C. On mélange ces granulés de grès expansé avec du ciment pour en faire un ciment léger

\* Marque déposée de Wuppermann GmbH (R.F.A.)

\*\* Marque déposée d'Ameron B.V. (Pays-Bas)



Fig. 1 : CHAUFFAGE URBAIN.  
Tuyaux en PRV installés  
dans la ville d'Hamlyn  
en R.F.A. (1979)  
(AMERON B.V.-Pays-Bas)

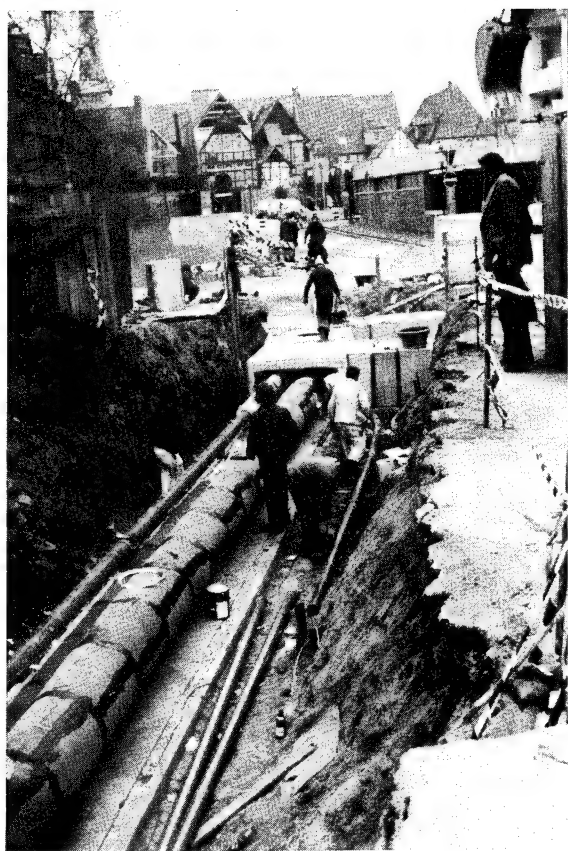


Fig. 2 : CHAUFFAGE URBAIN.  
Installation de  
tuyaux PRV dans la  
ville d'Hamlyn (R.F.A.)  
(AMERON B.V.-Pays-Bas)

(densité sèche :  $550 \text{ kg/m}^3$  avec résistance à la compression de  $10 - 20 \text{ MN/m}^2$ ). L'utilisation d'un tel ciment léger injecté sur place n'est possible qu'avec un tuyau en PRV vu les faibles dilatations engendrées par ce genre de tuyau.

\* DEUTSCHE FIBERCAST GmbH (R.F.A.)

Dix ans après l'installation du chauffage urbain à Bremerhaven, la Stadtwerke Bremerhaven A.G. dut faire face à un sérieux problème de corrosion des canalisations de retour.

L'entièreté du réseau était particulièrement exposée à la corrosion du fait des conditions géologiques défavorables mais la situation était plus grave pour les conduites de retour. En effet, les conduites d'alimentation sont quelque peu protégées contre l'oxydation par la couche de vapeur qui se dépose sur les parois étant donné la température plus élevée. La température de retour étant plus basse, les conduites de retour ne jouissent pas de cette protection.

Lors de l'installation initiale, la Stadtwerke Bremerhaven A.G. avait utilisé des tuyaux d'acier recouverts de deux couches de laine minérale, chemisés d'une épaisseur de  $1,5 \text{ mm}$  de thermoplastique. Cependant, l'imperméabilité de ces couches s'avéra défectueuse et l'acier sous-jacent rouillait.

La Stadtwerke Bremerhaven A.G. était acculée à choisir d'autres matériaux mais ce choix s'avérait difficile car les conditions d'exploitation dans cette région d'Allemagne sont très sévères.

Des inondations fréquentes rendent le sol particulièrement agressif et la nappe d'eau souterraine se situe à proximité de la surface. En outre, les canalisations traversent la Geeste et le trafic fluvial exclut la possibilité d'un aqueduc. Il fallait passer par un conduit sous la rivière dont l'entrée se trouve à un endroit fréquemment inondé. De ce fait, les canalisations risquaient d'être submergées.

Le matériau choisi devait être à même de résister à de telles conditions. En 1970, la Stadtwerke Bremerhaven apprit que des conduites de chauffage en résine époxyde renforcée de fibres de verre avaient été installées avec succès à l'usine M.A.N. à Nürenberg.

Ces conduites, dont environ 60 % étaient enterrées, comportaient approximativement  $3 \text{ km}$  de tuyaux et la pression de service pouvait atteindre 3 bars à une température maximum de  $100^\circ\text{C}$ .

La température admissible permettait l'utilisation de ces tuyaux pour le transport de condensats. La résistance à la pression du tuyau FiberCast utilisé s'avéra satisfaisante, les manchons résistant à l'eau froide sous 56 bars de pression. Et de plus le PRV est éminemment résistant à la corrosion.

Les tuyaux FiberCast O.G. sont fabriqués par centrifugation et ne nécessitent pas de calorifugeage lorsqu'ils sont utilisés pour le transport de condensats dont la température est inférieure à  $110^\circ\text{C}$ . Ce procédé de fabrication leur confère des parois d'une épaisseur telle ( $9,3 \text{ mm}$  pour un diamètre de  $25 \text{ mm}$ ) qu'elles constituent une isolation suffisante. (Figure 3).

A ce jour, la Deutsche FiberCast a posé plus de  $7 \text{ km}$  de tuyaux à Bremerhaven et le remplacement des anciennes conduites se poursuit. Les économies sont déjà sensibles : les pertes de condensats sont réduites de 30 %.

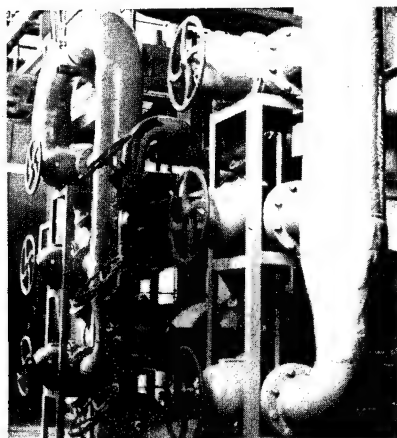


Fig. 3 : TRANSPORT DE CONDENSAT.  
Conduites en PRV installées  
dans une centrale électrique  
(1970).  
(DEUTSCHE FIBERCAST - R.F.A.)

L'utilisateur de ces tuyaux à Bremerhaven a fournit quelques chiffres convaincants :

En 1970, 6 km de tuyaux en PRV (diamètre : 100 mm) de Deutsche Fibercast ont été installés pour résoudre des problèmes de transport de condensat. Ceci constituait 80 % de la ligne totale. Le plan 1980 et 1981 prévoit d'ajouter chaque année 3 km en diamètre 150 mm vu la bonne expérience précédente tant au point de vue de la tenue anti-corrosion que des économies d'énergie.

En effet,

a) 3 km de tuyaux d'acier se caractérisent par une perte calorifique de 80 à 100 m<sup>3</sup> d'équivalent eau chaude pendant 24 heures. Etant donné qu'un m<sup>3</sup> d'eau chaude coûte 7 DM, cela correspond à une perte annuelle de 201.600 DM.

b) un tuyau en PRV se caractérise lui par une perte calorifique correspondante de 20 m<sup>3</sup> d'équivalent eau chaude par jour. Cela correspond à une perte de 50.400 DM par an.

La différence de 151.200 DM en 1979 est due à l'utilisation des tuyaux en PRV de Deutsche Fibercast dans les lignes de condensat à Bremerhaven.

A ce calcul, il faut ajouter le coût de la chaleur nécessaire pour ramener l'eau à la bonne température. Cette valeur est inférieure pour le PRV que pour l'acier.

#### \* OY FISKARS AB (Finlande)

Toujours dans le domaine du transport d'eau chaude à distance, depuis 1965, la firme finlandaise Oy Fiskars AB utilise des manchons préfabriqués en PRV pour l'isolation des réseaux enterrés de chauffage urbain. Environ 2 500 km de tels manchons d'isolation en PRV ont été installés jusqu'ici ce qui correspond à 4 000 km de tuyaux en PRV dans des diamètres de 50 mm à 240 mm.

Les manchons en PRV de Fiskars sont composés de 2 tuyaux en PRV internes et parallèles encastrés dans de la mousse de polyuréthane rigide. Le manchon extérieur est constitué de polyéthylène "basse densité" extrudé. Les longueurs normales sont de 12 m et on y glisse les tuyaux en acier lesquels sont soudés pour assemblage.

En dehors des qualités typiques des PRV dans cette utilisation, Fiskars a démontré que le PRV constitue une solution de 10 à 20 % plus économique que d'autres matériaux plastiques. L'utilisation de métaux est exclue pour des raisons de poids, corrosion et prix.

Les villes allemandes qui ont déjà installé avec succès les caniveaux Fiskars sont les villes de Wolfsburg, Flensburg, Neumunster, Aix-La-Chapelle et Heidelberg. (Figure 4).

#### \* PERMA-PIPE (Etats-Unis)

Un système américain semblable au précédent, appelé Poly-Therm, de Perma-Pipe, division de Midwesco, consiste en un tuyau isolé préfabriqué. L'isolation, en général le polyuréthane, est projetée sur le tuyau de service à l'épaisseur et la densité requises et est maintenue extérieurement par une



Fig. 4 : CANIVEAUX D'ISOLATION EN PRV installés à  
Flensburg (R.F.A.) (1979).  
(Oy FISKARS AB - Finlande)

manchette en PRV obtenue par enroulement filamentaire. Cette manchette en PRV assure l'étanchéité et la protection mécanique et chimique du polyuréthane. On dimensionne le système pour les effets de contraction et d'élongation. 7,5 km de ce système ont été utilisés avec succès pour le transport d'eau chaude et froide dans la cité militaire King Khaled en Arabie Saoudite.

Ce système a aussi été utilisé avec succès dans l'un des projets solaires les plus importants aux Etats-Unis. Il s'agit en l'occurrence de la Whiteriver Comprehensive Indian Health Facility situé à Whiteriver en Arizona. Le système de chauffage et de conditionnement d'air de l'hôpital est alimenté par 45 collecteurs solaires suiveurs de 2,7 m x 24 m. Une solution anti-gel circule à des températures de 95°C à 120°C entre 4 réservoirs de stockage de 8 000 litres pour servir de tampons calorifiques pour les journées sans ensoleillement. Un boiler conventionnel sert de sécurité au système. Pour éviter toute infiltration d'humidité malencontreuse dans le système de circulation calorifique, on a spécifié le Poly-Therm à raison de 4 plongeurs d'environ 90 m (7,5 cm de diamètre), chacun muni de 92 tuyaux de montée d'environ 1,2 m (2,5 cm) pour servir de connection aux collecteurs solaires et au système de drainage. Les tubes plongeurs de 7,5 cm de diamètre sont connectés aux tuyaux principaux de 10 cm de diamètre qui rejoignent les réservoirs. Des canalisations de 15 cm de diamètre fournissent l'énergie à l'équipement de conditionnement d'air. (Figure 5).

### 3. LA GEOTHERMIE

Alors que les Allemands étendent rapidement leur réseau de chauffage à distance sur base de centrales couplées "électricité-chaleur", les Français, eux, se montrent particulièrement actifs dans l'utilisation de sources géothermiques destinées à ce genre de réseau de chauffage.

La conception du chauffage géothermique est simple. A mesure que l'on fore dans le sol, la température augmente d'une manière plus ou moins régulière avec la profondeur de forage. Dans le bassin parisien, par exemple, la température s'élève de 3,5°C tous les 100 mètres. Les eaux souterraines constituent un milieu idéal pour le transfert de cette chaleur. Si bien que, si nous admettons que la température minimum utilisable pour le chauffage géothermique est de 65°C, toute poche d'eau naturelle située à une profondeur de l'ordre de 2 000 mètres constitue une source de chaleur potentielle pour un tel système. En utilisant un matériel de forage similaire à celui en usage dans l'industrie pétrolière, on peut amener l'eau chaude à la surface et en récupérer la chaleur dans un échangeur. Une fois utilisée, l'eau est renvoyée vers la poche d'eau à une distance d'au moins 1 000 mètres du lieu d'extraction, afin d'éviter le refroidissement de la source. (Figure 6).

Le coût d'exploitation d'un tel système se limite donc au coût du pompage de l'eau hors du sol. Mais, à la surface, le transport de cette eau engendre trois problèmes, à savoir : une très forte corrosion due à la haute teneur en minéraux, les déperditions de chaleur (lourdes de conséquences si l'on considère que la température de l'eau se situe déjà à la limite inférieure admissible) et les pertes de charge, pouvant se traduire par une perte de chaleur additionnelle.

Plusieurs réseaux de chauffage géothermique sont actuellement en service ou projetés en Europe.

Ainsi en France, à Creil, dans le bassin parisien, les autorités municipales ont décidé d'adopter ce système en remplacement du système existant (chauffage



Fig. 5 : MANCHETTE D'ISOLATION EN PRV - utilisée dans l'un des projets solaires les plus importants aux Etats-Unis : le Comprehensive India Health Facility à White River, Arizona.  
(PERMA-PIPE - Etats-Unis)

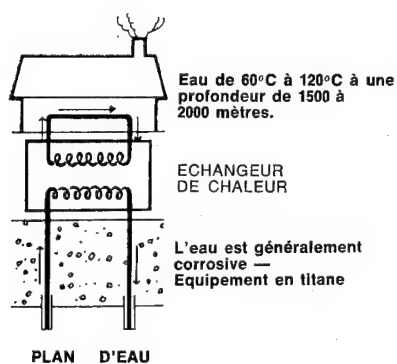


Fig. 6 : LA GEOTHERMIE.  
Théorie et pratique : l'eau chaude souterraine est refoulée dans un échangeur où elle cède sa chaleur.

central à combustible solide) pour chauffer 2 000 habitations familiales subventionnées ainsi que pour fournir l'eau chaude et le chauffage à 2 000 habitations nouvellement créées dans la région.

A Melun, près de Paris, plusieurs immeubles résidentiels sont chauffés géothermiquement par une installation pilote. Le nombre de logements en France qu'il est prévu de chauffer par géothermie pourrait passer du chiffre actuel de 20 000 à 60 000 en 1985 et 1 000 000 en l'an 2000.

Suivant l'exemple français, l'Allemagne Fédérale démarre son premier projet géothermique pilote. L'objectif serait d'alimenter quelque 2 000 logements - ou de chauffer 5 000 des 20 000 habitants de Bühl, ville au sud de Karlsruhe dans l'Etat de Baden Wurtemberg. D'autres projets sont prévus dans la vallée du Rhin, de Bâle à Frankfort. Différents programmes de géothermie existent en Angleterre, au Portugal, en Italie et en Hongrie.

### 3.1 LES PRV CONTRIBUENT AU DEVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE

Ainsi, lorsque Total découvrit d'importantes poches d'eau chaude d'origine géothermique au cours de ses prospections pétrolières dans le bassin parisien, cette société française de pointe décida d'orienter ses recherches dans cette nouvelle direction et entreprit une vaste expérience dans le domaine du chauffage domestique.

La pleine utilisation de la chaleur géothermique ne va cependant pas sans soulever des difficultés. La nature hautement corrosive de l'eau naturelle employée dans ce système peut entraîner une détérioration rapide des tuyauteries en acier communément utilisées dans l'industrie pétrolière, ce qui élèverait le coût des systèmes de chauffage géothermique au-delà de toute limite acceptable.

Au cours des forages qu'elle a effectués dans le bassin parisien, la société Total a trouvé différentes nappes d'eau souterraine. Vers 750 mètres, les foreurs ont rencontré l'étage albien, couche déjà bien connue comme source d'alimentation de la région parisienne en eau potable, et à mesure que les travaux progressaient est apparue au niveau jurassique moyen, une grande nappe calcaire, le Dogger.

L'eau, dans ce réservoir naturel, est à une température comprise entre 65°C et 80°C et constitue une source tout indiquée de chaleur géothermique. Total étudia alors les possibilités d'application de cette énergie dans le site environnant. Compte tenu de la température assez basse de l'eau, le lieu d'utilisation devait être aussi proche que possible du puits d'extraction, afin d'éviter les déperditions additionnelles de chaleur au cours du transport. D'autre part, les besoins en chaleur de l'installation expérimentale devaient être suffisamment importants pour absorber au maximum le débit potentiel du puits d'extraction.

Total trouva une réponse idéale à toutes ces exigences à Villeneuve-la-Garenne, où est implanté un ensemble d'habitations de 1 800 logements "La Caravelle", situé juste au-dessus de la ceinture du Dogger, et offrant à proximité un espace suffisant pour permettre l'installation des équipements de forage et de pompage. Afin de prévenir la contamination de la nappe aquifère albienne, Total a arrêté le forage juste après la traversée de cette couche pour mettre en place un tubage en acier, noyé dans du ciment. Toutefois, les spécialistes de Total savaient que ce type de tubage ne serait pas à même de résister à l'attaque de l'eau chaude lorsqu'ils attein-



draient la couche jurassique du Dogger, étant donné sa haute teneur en sel (jusqu'à 23 g/l) et en traces d'huiles et de gaz tel que de l'hydrogène sulfuré. (Figure 7).

Aussi, forte de l'expérience acquise en matière de forages pétroliers en "Off-shore", Total a retenu pour cette opération nouvelle, les tubages en plastique renforcé de fibres de verre, qui présentent une haute résistance à la corrosion, alliée à de bonnes caractéristiques mécaniques. De plus, en raison de leur légèreté, ces éléments sont d'une manipulation aisée et d'un transport peu onéreux.

#### \* FIBERGLASS SYSTEMS (Etats-Unis)

Ces tubes en polyester armé de fibres de verre proviennent de Fiberglass Systems Inc., Texas, U.S.A. Total les a utilisés pour le tubage du puits d'extraction et également pour le tubage du puits de réinjection dans le Dogger à 1 850 m de profondeur.

#### \* LUCHAIRE (France)

Le transport de l'eau chaude en surface a posé à son tour divers problèmes.

A la surface, Total a dû affronter trois problèmes essentiels : la corrosion, les déperditions de chaleur à travers les parois des tuyauteries et les pertes de charges, toutes trois susceptibles d'entraîner à leur tour des pertes thermiques.

La société avait au départ le choix entre trois sortes de matériaux pour ses tuyauteries : acier, plastique non armé ou plastique armé de fibres de verre. Les tubes en acier furent rapidement éliminés. Cible facile pour la corrosion, ils ne garantissent aucune isolation thermique et leur paroi interne, peu lisse, freine l'écoulement de l'eau.

Venaient ensuite les tuyaux en PVC ou en polyéthylène pour lesquels la chaleur, associée à des sollicitations mécaniques importantes, constituait un problème majeur. Aucun de ces matériaux ne pouvait donner satisfaction au-delà de 60°C ou sous une pression supérieure à 6 bars.

Une solution existait cependant, qui répondait idéalement aux critères exigés : il s'agissait en l'occurrence de tubes en résine époxyde renforcée de fibres de verre (obtenus par enroulement filamentaire), proposés par Luchaire. Ces tubes, armés à 70 % de fibres de verre, présentent une résistance à la traction de 4 300 daN/cm<sup>2</sup>; à la flexion de 1 200 daN/cm<sup>2</sup>; à la compression de 4 700 daN/cm<sup>2</sup>; à la pression d'éclatement de 4 500 daN/cm<sup>2</sup> ainsi qu'un coefficient de dilatation linéaire de  $13.10^{-6}$  mm/m °C.

Alors que les tubes en plastique non armé s'avèrent inopérants, en dehors d'une gamme restreinte de températures, les tubes Luchaire s'accommodent d'une température de fonctionnement comprise entre -200°C et +130°C. Leur pouvoir isolant est 200 fois supérieur à celui de l'acier et leur paroi interne, très lisse, offre une résistance minime à l'écoulement de l'eau.

Afin d'améliorer encore l'isolation thermique par rapport au cahier des charges de Total, la tuyauterie a été calorifugée à l'aide de mousse de verre Foamglas, dont la texture alvéolaire (non poreuse) assure en outre une parfaite étanchéité à l'eau.

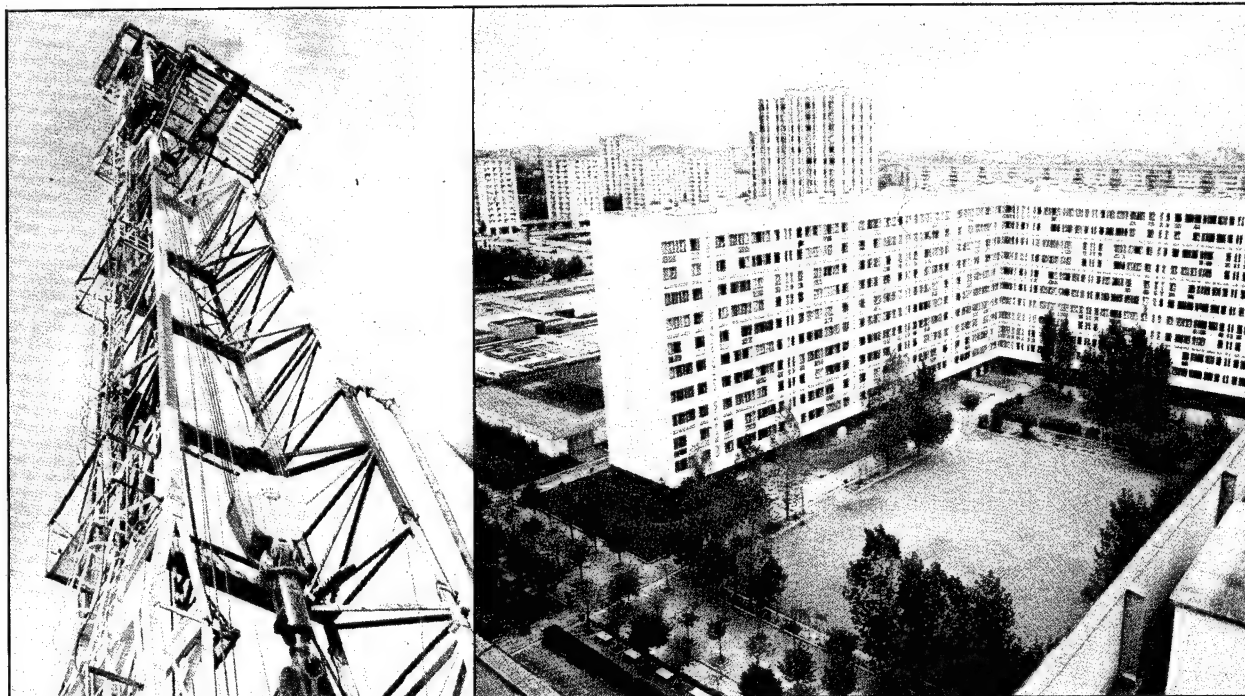


Fig. 7 : LE SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE DE VILLENEUVE-LA-GARENNE.  
 Le derrik qui a permis à TOTAL d'opérer deux forages de 1850 m  
 permettant l'alimentation constante en eau chaude géothermale  
 et sa réinjection pour le système de chauffage de l'ensemble  
 d'habitation "La Caravelle".  
 (TOTAL - France)

Il convient cependant de remarquer que les avantages utilitaires du plastique renforcé de fibres de verre n'ont pas été le seul facteur présidant au choix des tuyauteries Luchaire pour ce projet. Total voulait éviter d'être tributaire de fournisseurs de tubes, d'installateurs et d'autres partenaires éventuels. La société pétrolière souhaitait traiter avec une seule firme qui se chargerait de la fourniture et de la mise en place du système de tuyauterie complet, testé et prêt à fonctionner.

En un peu plus de trois mois, Luchaire assura effectivement la livraison, l'installation et les essais de plus de 2 000 mètres de tuyauterie. (Figure 8).

★ AMERON B.V. (Pays-Bas)

A Creil, dans le bassin parisien, l'eau géothermique se trouve à 1 800 m de profondeur dans le Dogger de la couche moyenne jurassique. Les autorités locales ont décidé d'utiliser cette source géothermique en remplacement d'une centrale de chauffage au fuel qui alimentait 2 000 appartements. Ce nouveau système distribue également l'eau chaude et le chauffage à 2 000 nouvelles habitations de la commune. (Figures 9 et 10).

Le maître d'oeuvre du projet, la société Vernier et Fils, de Tourcoing, cherchait pour cette réalisation une canalisation résistant à la corrosion d'une eau contenant à peu près le même pourcentage de chlorure de sodium que l'eau de mer. La société exigeait une perte de température inférieure à 0.5°C sur 1 500 m et une perte maximale de vitesse dans le déplacement du flux de 15 mm/ms. Les tuyaux PRV Epogard ont répondu à ces spécifications.

Enfin, le projet de Mont-de-Marsan est le cinquième projet de ce type à être mis sur pied en France et le troisième à incorporer des conduites en PRV pour son réseau de distribution.

Les ingénieurs de l'Union Technique Elf - Compagnie Générale de Chauffage (UTECH), organisation supervisant les opérations, avaient considéré l'emploi de conduites en acier pour ces installations, mais cela soulevait trois problèmes :

- . corrosion extérieure due au sol
- . corrosion intérieure due au liquide transporté
- . dilatation et contraction de la conduite, affaiblissant le système d'isolation.

Le PRV ne pose aucun de ces problèmes, ainsi que l'ont prouvé un nombre d'installations de chauffage urbain en Europe. Le plastique renforcé de fibres de verre n'est pas attaqué par la corrosion et son coefficient de dilatation thermique très réduit élimine les problèmes causés par les mouvements de la conduite. La possibilité pour le PRV d'absorber les dilatations thermiques rend inutile l'emploi des compensateurs thermiques tels ceux utilisés dans les conduites d'acier.

En fait, ce coefficient de dilatation, combiné avec son faible module axial d'élasticité, rendit possible l'ancrage dans le béton armé d'un nombre de raccords dans ce projet. Toute dilatation ou contraction provoquée par les changements de température est donc éliminée, alors que les forces exercées sur les conduites par cette méthode sont inférieures aux limites permises.

Outre ces avantages, les ingénieurs de l'UTECH apprécièrent l'avantage

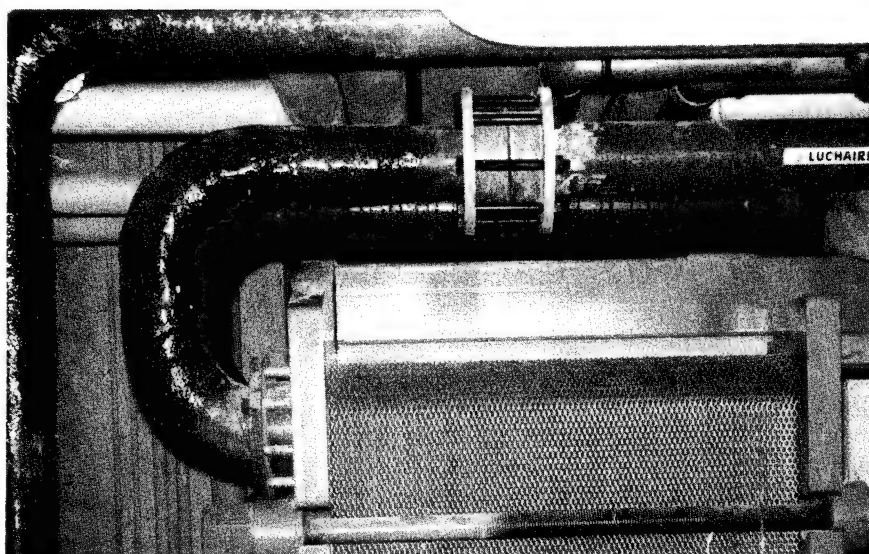


Fig. 8 : LES PRV CONTRIBUENT AU DEVELOPPEMENT  
D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE:  
dans une des sous-stations, des tuyau-  
teries en plastique renforcé de fibres  
de verre acheminent de l'eau corrosive  
à 65°C directement à l'échangeur de  
chaleur.  
(LUCHAIRE - France)

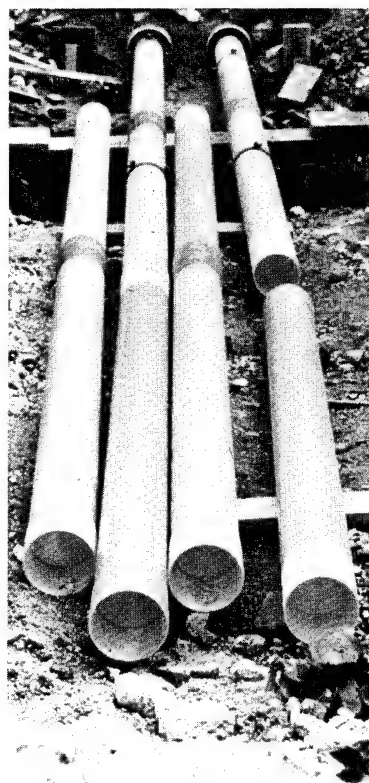




Fig. 9 : LE SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE A CREIL : ce nouveau système distribue l'eau chaude et le chauffage à 2000 nouvelles habitations de la commune.  
(AMERON B.V. - Pays-Bas)



Fig. 10 : LES PRV CONTRIBUENT AU PROJET GEOTHERMIQUE DE CREIL : l'avantage techno-économique des conduites en PRV est démontré.  
(AMERON B.V. - Pays-Bas)

constitué par la faible résistance au passage du fluide offerte par les parois intérieures lisses des conduites Bondstrand. En effet, cela permit de réduire le diamètre des conduites utilisées pour assurer un débit de 300 m<sup>3</sup>/h, ce que ne permettait pas l'emploi de conduites en acier. D'autres qualités du PRV pour ce genre de projet devaient se révéler au fur et à mesure de la conduite des travaux.

La facilité de l'installation était un avantage que seul l'emploi de conduites en PRV pouvait apporter au projet. Pour la pose de la première conduite raccordant la base militaire, les responsables exigèrent que les tranchées soient creusées manuellement, de façon à ne pas endommager les câbles électriques et de radar. En fait, si des conduites en acier avaient été utilisées, le nombre de câbles et de tuyaux rencontrés pendant ces opérations aurait triplé et donc augmenté le coût.

En comparaison, 850 m de conduites isolées Bondstrand, d'un diamètre de 20 cm, furent posés dans la première tranchée en deux semaines, par trois ouvriers, sans utiliser d'équipement lourd et au rythme moyen d'un mètre de conduite posée par heure. La seconde conduite fut posée en cinq semaines par deux ouvriers.

Jusqu'à présent, ce nouveau système géothermique fournit un total de 8 600 thermies à l'heure, ce qui pourvoit à 65 % des besoins de la base militaire et à 95 % de ceux du complexe résidentiel. La prochaine phase comprendra le raccordement du système aux baraquements, à l'hôpital et aux serres.

#### \* PERMA-PIPE (Etats-Unis)

Aux Etats-Unis, le PRV pénètre également petit à petit dans des installations géothermiques. C'est ainsi qu'une tuyauterie Poly-Therm de Perma-Pipe - Midwesco a été installée dans une usine de séchage d'oignons de la société "Geothermal Food Processors" à Brady Hot Springs dans le Nevada. Les conditions sont très typiques d'un chauffage à distance à l'aide d'une source géothermique. Dans ce cas, l'eau géothermique à 112°C sert à chauffer l'air de séchage qui circule à travers un hangar d'oignons. Ce procédé protège les végétaux de toute dégradation.

Le tuyau préfabriqué Poly-Therm consiste en un tuyau en acier d'un diamètre de 15 cm entouré d'une isolation de 3 cm de polyuréthane (haute température) et d'une manchette en PRV de 3 mm d'épaisseur. Cette ligne est longue de 360 m et comporte 4 lyres de dilatation.

#### \* CIBA-GEIGY (Etats-Unis)

Non seulement les systèmes de chauffage requièrent beaucoup d'énergie et des solutions économiques mais on est obligé parfois d'être encore plus exigeant lorsqu'il s'agit de contrôler des systèmes de refroidissement.

C'est ainsi que les tuyaux PRV de Ciba-Geigy ont été installés avantageusement dans le système de réfrigération centrale d'une production industrielle en Suisse. Ceux-ci, en résine époxyde renforcée de fibres de verre (type Dualoy-3000), furent comparés au tuyau en acier inox 316.

Les avantages suivants furent relevés :

- . légèreté et longueur (12 m)
- . facilité de manipulation et d'installation



- . coût total plus faible (matériel plus installation)
- . résistance à la corrosion de la résine époxyde
- . propriétés et performances démontrées des PRV.

Les tests suivants furent réalisés en plus des épreuves standard et des contrôles de qualité.

a) des épreuves de pression interne à +20°C, -20°C et -55°C ont été réalisées sur des échantillons statistiques de tuyaux, coudes à 90° et "tés". Les résultats sont excellent et il s'avère que d'autres tuyaux en matière plastique n'auraient pu passer de telles épreuves.

b) des cycles de température de +50°C à -20°C (à raison de 4 cycles par jour et pendant 1 mois), n'ont pas permis de mettre en évidence le moindre signe de vieillissement (micro-craquelure) et ce, même en les faisant suivre d'un test de pression interne.

Le réseau de réfrigération comporte des tuyaux Ciba-Geigy D-3000 en PRV de 100, 150, 200 mm de diamètre.

Les conditions de travail sont de -15°C et 3 bars de pression. La ligne entière a été testée à 12 bars et le tuyau est dimensionné à 70 bars.

#### 4. L'ENERGIE SOLAIRE : REALISATIONS ET PERSPECTIVES

Un autre système éco-énergétique majeur offrant d'importants débouchés aux PRV est le chauffage solaire. Récemment encore, le chauffage solaire ne semblait pas devoir dépasser le cadre de la douce rêverie des écologistes. Mais les choses ont radicalement changé. Un expert français déclarait récemment qu'une antenne réceptrice de 7 km de long suffirait à capter l'énergie nécessaire à la France entière. D'après un rapport américain sur la recherche et le développement de l'énergie, dans les 45 années à venir le soleil devrait fournir à lui seul autant d'énergie que les industries pétrolières et du gaz naturel cumulées.

Parmi les principales applications des PRV dans ce domaine, il faut citer les boîtiers de capteurs solaires et les citernes de stockage d'eau chaude. Des recherches sont en cours concernant une nouvelle forme de capteur solaire faisant appel à des faisceaux verticaux de fibres de verre. Les spécialistes de l'industrie héliotechnique prévoient que le nombre d'installations de chauffage solaire en Europe passera de 128 000 unités en 1980 à 468 000 dix ans plus tard. (Figure 11).

##### 4.1 LES CAPTEURS PLANS

Depuis le "boom" de l'industrie solaire, le nombre de constructeurs d'équipements héliotechniques n'a cessé d'augmenter.

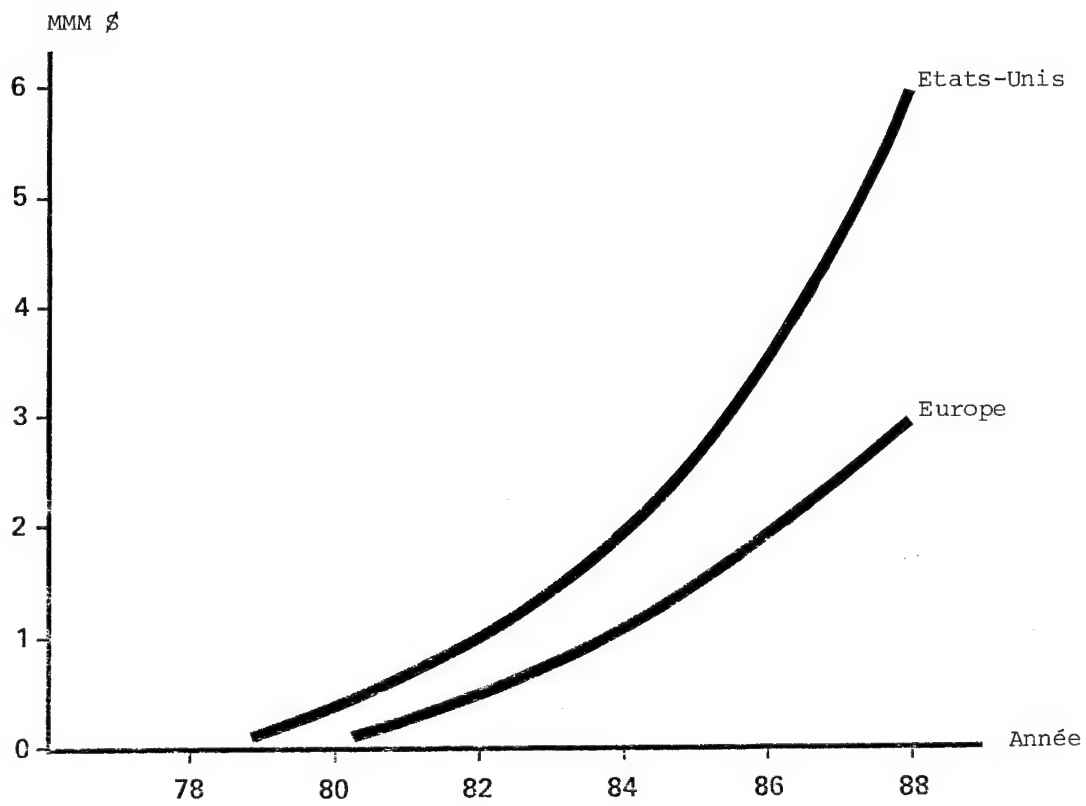
##### \* SOLEFIL (France)

Parmi les sociétés oeuvrant à cette tâche, une des plus réputées est sans conteste la société française Solefil qui étudie les utilisations de l'énergie solaire depuis une vingtaine d'années.

En tête des produits Solefil figure un capteur solaire connu sous la marque

Figure 11

LE MARCHÉ SOLAIRE (Résidentiel) (Etats-Unis - Europe)





Sofée. Il s'agit essentiellement d'un boîtier pourvu d'un panneau frontal en verre, mais c'est précisément ce boîtier qui fait l'objet de soins particuliers. Les normes imposées au matériau sont extrêmement sévères. Il doit être facile à façonner et posséder les propriétés isolantes requises, être rigide, mais assez léger pour pouvoir être installé sans difficulté sur les toits, résister aux rayonnements ultra-violets et ne pas se déformer ni se dilater sous l'action prolongée de la chaleur. Enfin, conformément aux exigences des entrepreneurs, qui tablent sur une durée de vie de leurs matériaux de 20 à 50 ans, il doit résister au vieillissement tout en étant exposé en permanence aux intempéries. Compte tenu de toutes ces exigences et après de nombreux essais sur des éléments en zinc, en acier protégé par revêtement ou en acier inoxydable, Solefil a décidé de fabriquer ses capteurs en polyester renforcé de fibres de verre, en disposant une couche isolante en mousse de polyuréthane entre deux feuilles de PRV. (Figure 12).

\* KLAUS ESSER (R.F.A.)

En Allemagne Fédérale, Klaus Esser développe depuis 2 ans des capteurs en PRV qui s'intègrent parfaitement avec la construction architecturale. Le caisson en PRV englobe la mousse de polyuréthane et l'ensemble est protégé par des lanterneaux en résine acrylique (stabilisée aux U.V.). Ces capteurs offrent l'avantage d'être très légers. (Figure 13).

\* M.E.T. (R.F.A.)

Le système Espelkamp de M.E.T. (Allemagne) lui aussi se compose d'un caisson en PRV et est muni d'un vitrage en thermoplastique structuré. (Figure 14).

\* KALWALL (Etats-Unis)

Aux Etats-Unis, des panneaux translucides en PRV produits par Kalwall remplacent de plus en plus et efficacement les vitrages des collecteurs solaires et les vitrages des bâtiments tout en jouant le rôle de capteurs solaires passifs par effet "serre". (Figure 15).

Les avantages de ces panneaux en PRV sur le verre classique sont le poids et la résistance mécanique. Le PRV pèse 1,6 kg par m<sup>2</sup> alors que le verre pèse 16 kg pour une efficacité comparable. L'effet de cet allègement du capteur solaire se retrouve dans le dimensionnement des supports, des toitures, du bâtiment.

Un collecteur passif de type Kalwall est constitué d'un vitrage mono- ou multi- couches de panneaux en PRV. Des tubes collecteurs/stockeurs en PRV translucide se trouvent à l'arrière de ce vitrage et stockent l'énergie solaire pendant le jour. Un rideau isolant est descendu la nuit ou par temps brumeux entre le vitrage et les tubes de stockage pour éviter les déperditions. Un ventilateur permet un meilleur échange thermique entre les tubes collecteurs et le système de conditionnement d'air. (Figure 15).

\* SOLAR SHELL (Afrique du Sud)

Enfin en Afrique du Sud, le Solarshell est une unité compacte qui s'intègre elle aussi avec succès dans l'esthétique de l'architecture. Ce capteur solaire est fait d'acier inox et est séparé du caisson en PRV par de la mousse polyuréthane. Un dôme en résine acrylique recouvre l'unité. Le caisson en

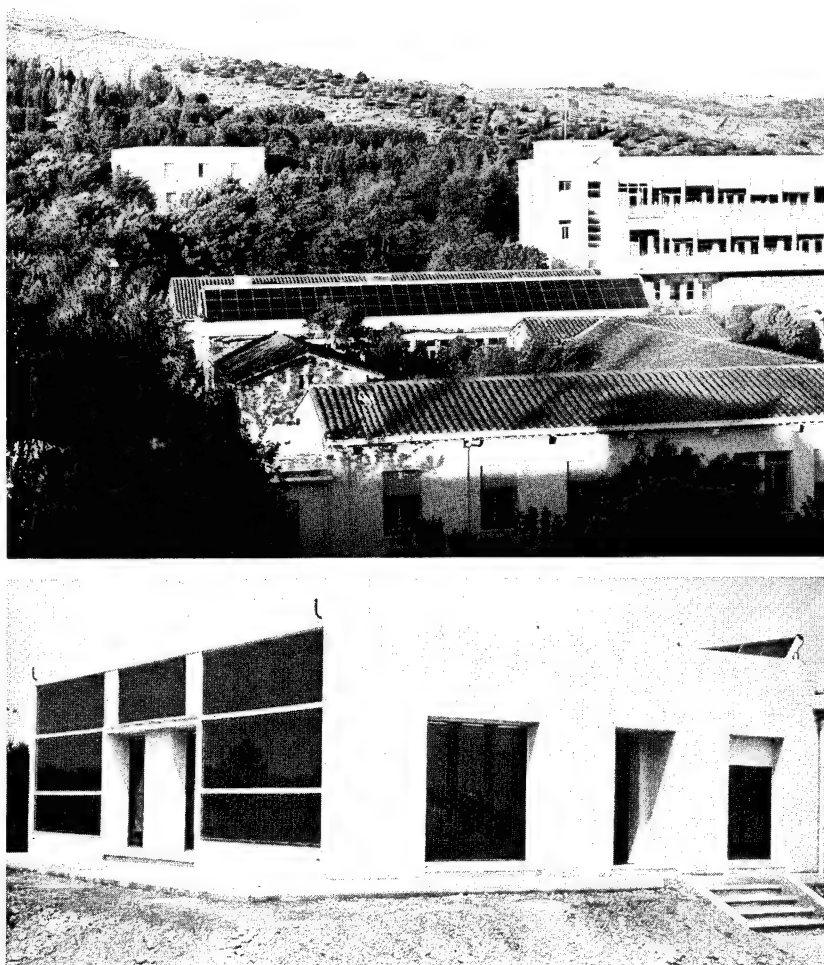


Fig. 12 : L'ENERGIE SOLAIRE CONTRIBUE AUX ECONOMIES D'ENERGIE.  
Conformément aux exigences des entrepreneurs qui  
tablent sur une durée de vie de leurs matériaux de  
20 à 50 ans, les caissons des capteurs sont réalisés  
en PRV.  
(SOLEFIL - France)

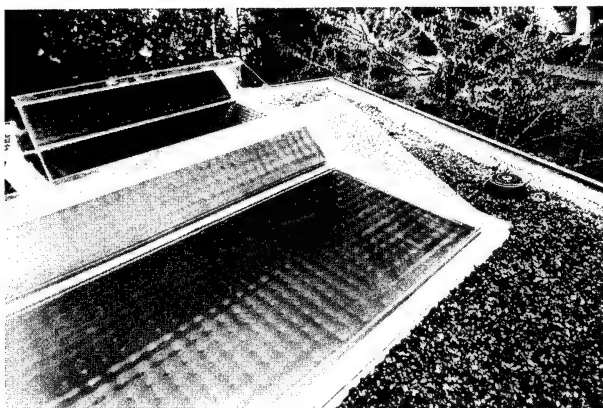


Fig. 13 : CAPTEUR SOLAIRE :  
le caisson en PRV s'intègre  
parfaitement à la construction  
architecturale.  
(KLAUS ESSER - R.F.A.)

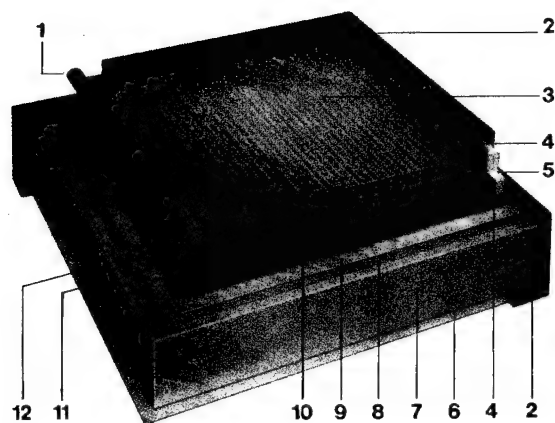


Fig. 14 : CAPTEUR SOLAIRE.  
Le caisson en PRV est muni d'un  
vitrage en thermoplastique  
structuré.  
(M.E.T. - R.F.A.)

1. Tuyau de sortie
2. Cadre en aluminium
3. Vitrage structuré  
(thermoplastique)
4. Joint spécial - EPDM
5. Isolation latérale
6. Caisson en PRV

7. Polystyrène PS 20 SE  
(ignifuge)
8. Caisson en PRV
9. Caisson en PRV
10. Couche d'EPDM
11. Mat d'absorption en  
fibres synthétiques
12. Réseau en alu 6/6



Fig. 15 : CHAUFFAGE SOLAIRE PASSIF :  
 les panneaux translucides en PRV permettent  
 à la lumière naturelle d'éclairer les maisons  
 à Weare, N.J. et à Wellfleet, Ma. (Etats-Unis)  
 tout en alimentant des collecteurs solaires  
 KALWALL. Ceux-ci se trouvent à l'arrière; ils  
 sont remplis d'eau et comportent une surface  
 absorbante de chaleur pour convertir et  
 stocker la chaleur solaire.  
 (KALWALL - Etats-Unis)

PRV a été moulé pour Shell par Emaillit de Cape Town. (Figure 16).

#### 4.2 LES CAPTEURS PHOTO-VOLTAIQUES

Le prix des photopiles baissant régulièrement (10 % par an en monnaie constante) depuis 4 ans, la taille des installations augmente tout en devenant de plus en plus économique. Le marché des photopiles se développe parallèlement et les applications se diversifient. Il y a tout lieu de penser que d'ici 5 ans le chiffre d'affaires des industriels concernés augmentera de 20 à 40 fois pendant que ces matériaux verront leur prix baisser de 2 à 3 fois (en francs constants).

##### \* MENZOLIT WERKE - ALBERT SCHMIDT GmbH (R.F.A.)

La première maison en Allemagne qui possède son générateur autonome d'énergie solaire photovoltaïque a été mise en opération à Selingenporten près de Nürenberg. Elle incorpore des mini collecteurs hybrides dans les tuiles du toit. Ces tuiles solaires sont conçues de telle sorte que le fluide d'échange thermique circule en circuit ouvert dans des cavités d'une tuile à l'autre et sert ainsi de circuit à une pompe à chaleur. Ce système thermique peut être complémentarisé par des cellules solaires dans la tuile derrière le vitrage (verre ou plastique). D'un point de vue thermique, ce système opère à un niveau de faible rendement et de température. En effet, le circuit ouvert exige des capacités de pompage plus élevées et d'autre part, ces tuiles sont moins efficaces en tant que corps absorbant que ne le serait un capteur plan métallique (cuivre ou aluminium) lequel posséderait en outre un meilleur coefficient de transfert de chaleur. (Figure 17).

Toutefois, un avantage essentiel est l'intégration architecturale complète des tuiles solaires dans la structure traditionnelle du toit.

Les tuiles solaires (fabriquées par Menzolit Werke - Albert Schmidt GmbH & Co KG à Kraichtal-Menzingen depuis 1979) sont produites en PRV pour réduire leur prix de revient et assurer de meilleures résistances mécaniques ainsi que la protection des cellules solaires coûteuses. Ces tuiles ont la forme et la couleur typique des tuiles classiques. Ce concept a également l'avantage de pouvoir être étendu au fur et à mesure des besoins.

Une tuile thermique (eau chaude) coûte 12 DM tandis qu'une tuile hybride avec une capacité maximum de 1 W coûte 36 DM. (Environ 35 tuiles sont requises pour couvrir 1 m<sup>2</sup> de toit).

Un système complet (eau) avec 10 m<sup>2</sup> de tuiles solaires, incluant une petite pompe à chaleur coûte approximativement 12.000 DM. Si on veut réaliser un générateur électrique d'appoint avec capacité maximum de 60 W, on a besoin d'environ 2 m<sup>2</sup> de tuiles hybrides. Ce système qui inclut batterie et accessoires coûtera environ 40.000 DM.

#### 5. UTILISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE (gazéification et fermentation)

L'Europe possède des ressources agricoles et forestières importantes. Leur utilisation à des fins énergétiques constitue un objectif important. Des programmes ambitieux sont en cours de lancement. Ils visent à une multiplication par cinq des quantités d'énergie produites par la "Biomasse", au cours des 20 prochaines années. En effet, en France par exemple, sa

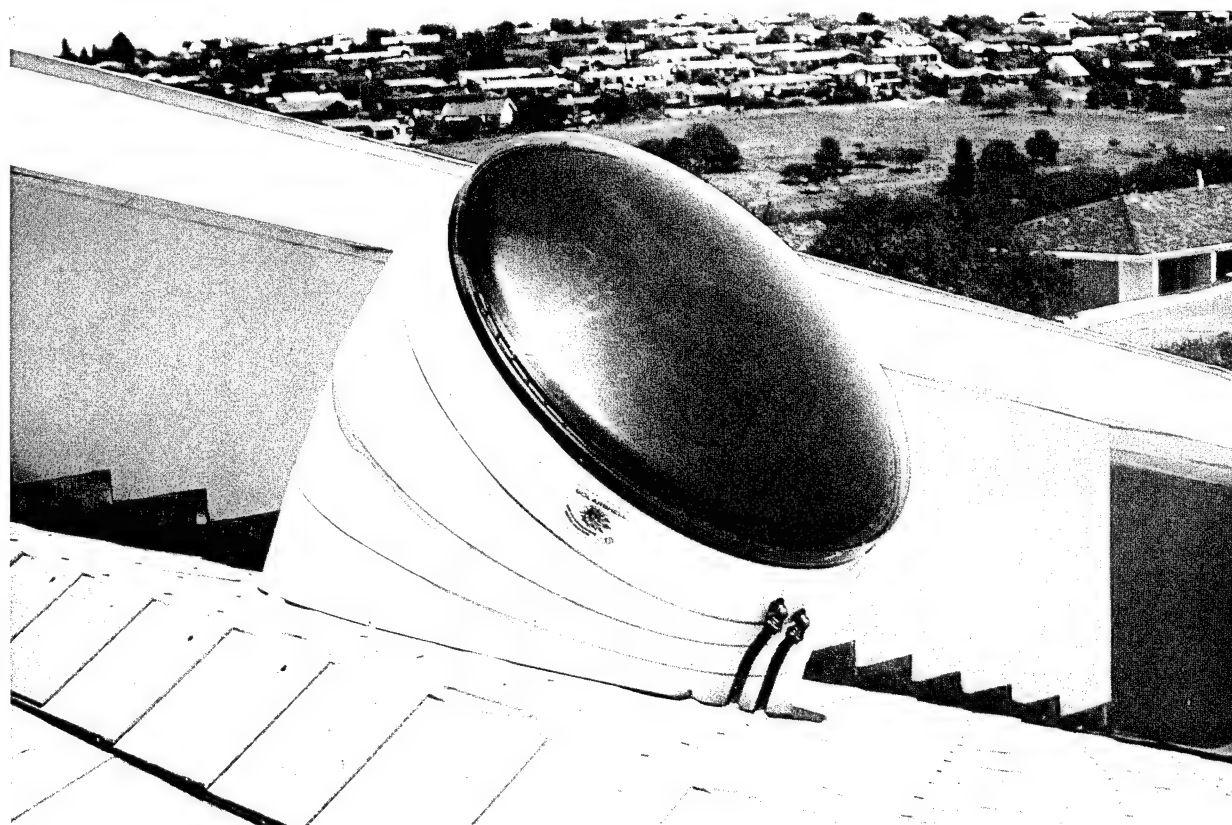


Fig. 16 : CAPTEURS SOLAIRES ARCHITECTURAUX. L'unité compacte en PRV s'intègre avec succès dans l'esthétique de l'architecture.  
(SOLARSHELL - Afrique du Sud)

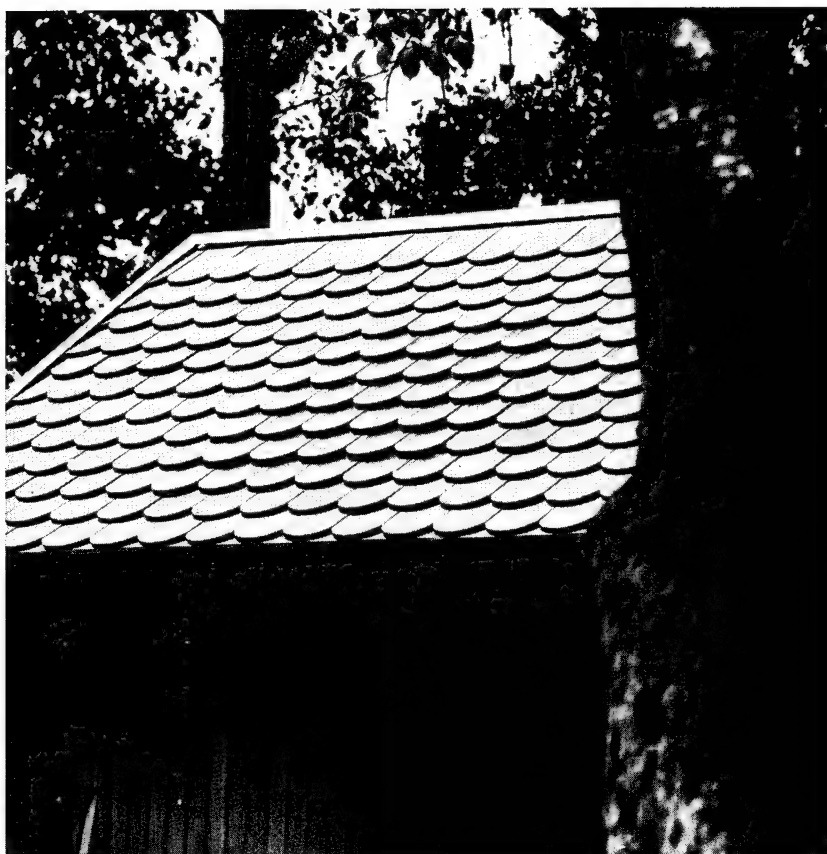


Fig. 17 : CAPTEUR SOLAIRE A INTEGRATION ARCHITECTURALE.

Les tuiles solaires en PRV ont la forme et la couleur typique des tuiles classiques. Elles protègent les cellules solaires fragiles et coûteuses.

(MENZOLIT WERKE - ALBERT SCHMIDT GmbH - R.F.A.)



contribution actuelle est estimée aujourd'hui à environ 2 millions de tonnes d'équivalent pétrole, et l'on peut espérer la voir portée à 10 millions en l'an 2000.

Des travaux de recherche et de développement, ainsi que des démonstrations, recouvrent l'ensemble des secteurs de valorisation de la matière organique : combustion directe, gazéification, pyrolyse, fermentation, production de carburant liquide.

Divers programmes de recherche plus fondamentaux visent à la découverte d'espèces végétales ayant un rendement de conversion photosynthétique élevé, ou pouvant produire directement des carburants, tel l'hydrogène.

Déjà le PRV est présent avantageusement dans certains de ces programmes. On y apprécie surtout les propriétés "anti-corrosion" vis-à-vis de l'agressivité des milieux concernés dans ces programmes.

## 6. L'ENERGIE EOLIENNE

L'énergie du vent est dérivée de l'énergie solaire. En effet, la Terre est comparable à une vaste machine thermique faisant passer chaque jour son fluide de travail, l'atmosphère, de sa source chaude, l'hémisphère éclairé, à sa source froide, l'hémisphère obscur. Ce cycle produit une énergie mécanique qui n'est autre que l'énergie cinétique du vent ce qui conduit aux ordres de grandeurs suivants :

- . énergie annuelle :  $10^{16}$  kWh
- . fraction industriellement récupérable (évaluée à 1 %) :  $10^{14}$  kWh
- . pour la France seule, cela représente :  $10^{11}$  kWh.

Ce dernier montant représente la moitié de la consommation française actuelle d'électricité. Pour certains pays moins développés et mieux ventés, l'Irlande, par exemple, on obtiendrait plus de 10 fois la consommation actuelle.

Cette énergie présente les avantages et les défauts de l'énergie solaire : elle est inépuisable et non polluante, gratuite après investissement des installations de captage, mais dispersée, intermittente et aléatoire.

Les éoliennes connues de nos jours descendent plus ou moins directement du moulin à vent; il en existe de nombreux types.

. Parmi les éoliennes à axe vertical, on rencontre les machines dites "à trainée" qui utilisent la viscosité de l'air et sont en général volumineuses et chères. Plus intéressantes sont les panémons, ainsi appelées parce qu'elles tournent à tous les vents sans nécessiter d'orientation. Leur rendement est assez médiocre (40 % de la limite théorique), mais cet inconvénient est parfaitement compensé par leur simplicité : pas d'orientation, axe vertical transmettant le mouvement jusqu'au sol.

. Des machines à axe horizontal, les seules actuellement commercialisées, sont de deux sortes : le moulin hollandais (2 à 4 pales) et le moulin américain (multipale).

Les pales des rotors éoliens sont soumises à des conditions très dures :

- . Erosion (sables, poussières, grêle, pluie),



- . Corrosion (fumées, embruns),
- . Efforts variables (poussée du vent, force centrifuge, moment gyroscopique).

Il convient donc de choisir avec soin les matériaux suivant chaque cas d'espèce, compte tenu des conditions climatiques et économiques.

Actuellement, la compétition est pratiquement limitée à trois catégories :

- . Le bois (si le rotor n'est pas trop grand),
- . Les alliages d'aluminium,
- . Les complexes de résines ou plastiques armés.

Quelle que soit la technologie retenue, on doit s'assurer de la résistance des pales en cas de tempête. Ce résultat peut être obtenu par différents moyens : effacement ou mise en drapeau lorsque la poussée est trop forte, pas variable, frein automatique, ou simplement résistance mécanique suffisante.

#### \* FOKKER (Pays-Bas)

En Hollande, sous les auspices du LSEO, "Landelijke Sturrgroep Energie Onderzoek", on prévoyait en 1976 d'installer entre 1985 et l'an 2000 quelque 1 560 unités éoliennes d'une capacité d'environ 1 million de kWh par an. On prévoit de les installer surtout le long de la côte avec un diamètre de rotor de 32 à 40 mètres. Il semble d'après les spécialistes de Fokker que l'on est encore loin d'avoir obtenu un résultat optimal et qu'il est un peu simpliste de vouloir trop rapidement extrapoler les connaissances technologiques acquises sur des turbines de petits diamètres à des diamètres plus grands. En particulier le dimensionnement et les techniques de fabrication des pales de rotor sont plus complexes et c'est à ce programme que s'est attaché Fokker depuis 1977 dans le cadre du programme hollandais de l'énergie éolienne.

Déjà en 1975, une turbine à axe vertical avait été construite dans le cadre de ce même programme. Le diamètre du rotor était de 5,3 m, les pales paraboliques, longues de 5,3 m et larges de 26 cm et construites en PRV. (Figure 18).

#### \* UNIVERSITE DE SWANSEA (Grande-Bretagne)

D'autres programmes éoliens existent en Europe. C'est ainsi que trois membres du département de mécanique et des études énergétiques de l'Université de Swansea mettent au point des pales de turbines éoliennes dans le but très sérieux d'atteindre des économies d'énergie importantes. De la fibre de carbone est introduite dans la pale de façon à la rigidifier et les tests menés jusqu'ici sont très prometteurs. Le programme de fabrication de ces pales fait partie d'un programme plus large de prédiction théorique de performance, d'épreuve de prototype (pale de 5 m de diamètre) et de contrôle dynamique des caractéristiques de ces turbines à axe vertical.

La turbine expérimentale est située près de Rhossili Down sur la péninsule de Gower en Grande-Bretagne et sera suivie par des turbines de 15 m de diamètre. Les pales du modèle expérimental ont 2,3 mètres de longueur; pèsent 20 kg et sont réalisées en polyester renforcé de fibres de verre et de carbone et remplies de mousse de polyuréthane. Une couche de finition en polyuréthane les protège de toute érosion accélérée. (Figures 19 & 20).

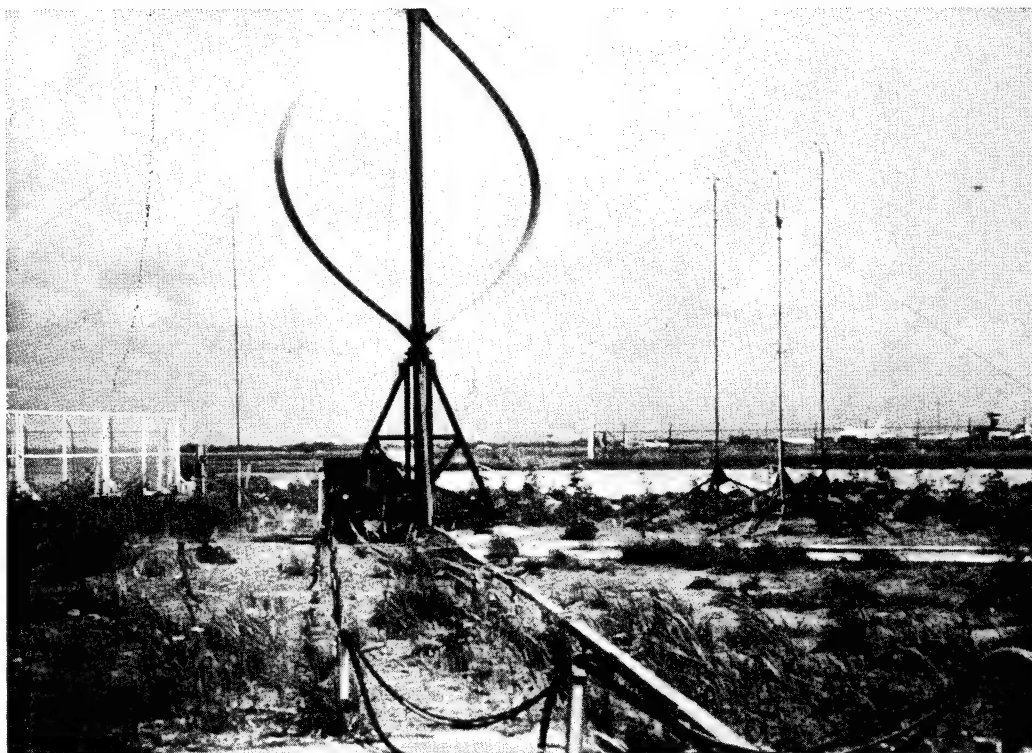


Fig. 18 : TURBINE EOLIENNE A AXE VERTICAL : installée à l'aéroport  
de Schiphol (Pays-Bas).  
(FOKKER B.V. - Pays-Bas)

Fig.19 : TURBINE EOLIENNE :  
les fibres de carbone sont  
mises en place dans la pale  
de la turbine éolienne.  
(UNIVERSITE DE SWANSEA -  
Grande-Bretagne)

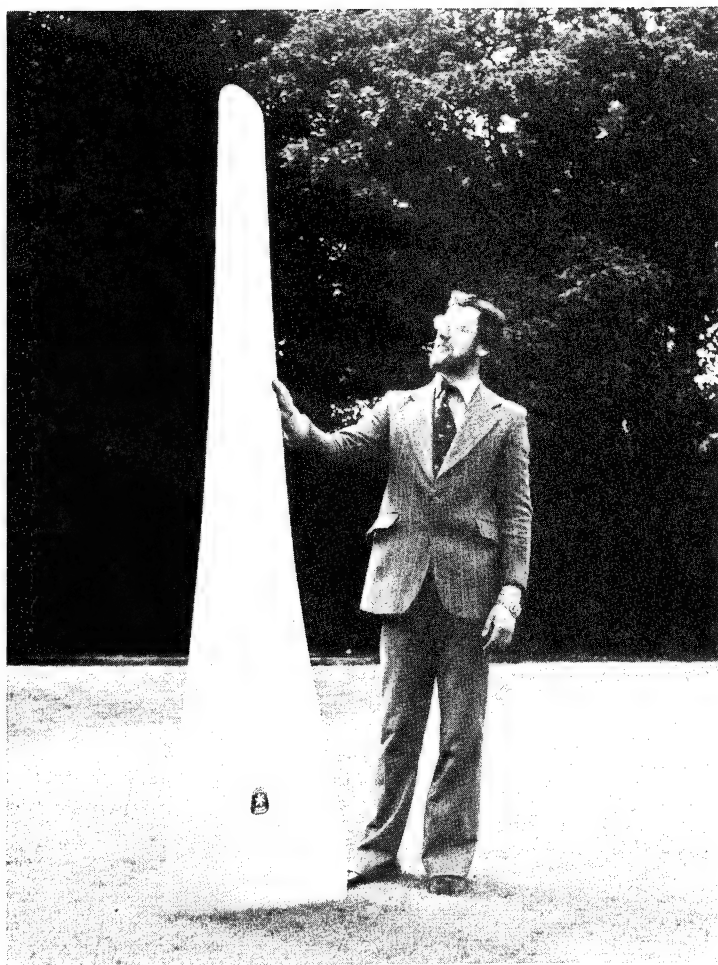
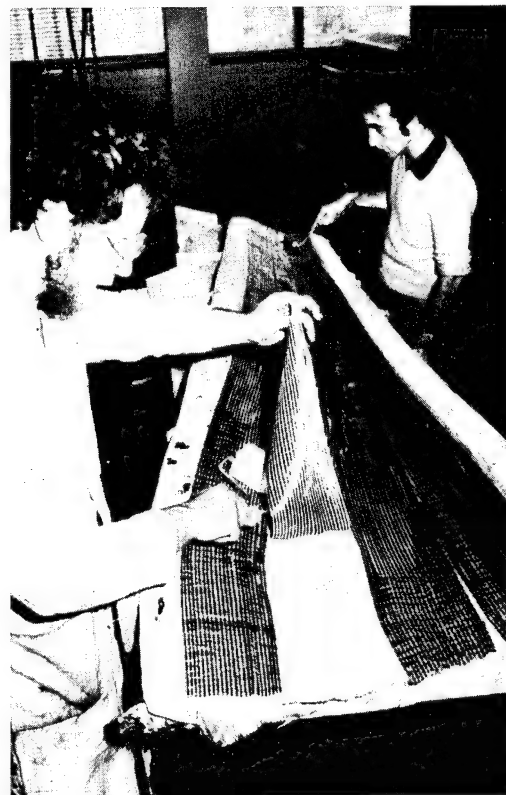


Fig.20 : TURBINE EOLIENNE : la pale de la  
turbine prototype mesure 2,3 m de hauteur.  
(UNIVERSITE DE SWANSEA - Grande-Bretagne)

Le modèle servira à fournir la chaleur à une serre agricole avec une efficacité de la turbine éolienne de 40 à 42 % comparé à une efficacité typique des moulins traditionnels hollandais qui se situe à 4 - 5 %.

\* MBB - VOITH (R.F.A.)

MMB (en Allemagne) sous-traite pour Voith (Allemagne) un projet d'éolienne pour le Gouvernement allemand. La pale en développement pèsera 1,6 T et comportera 80 % de fibres de carbone et 20 % de fibres de verre dans un laminé 50/50 de résine époxyde produit par Ciba-Geigy.

Deux éoliennes prototypes seront fabriquées d'ici mars 1980 et 14 autres dans l'année suivante. Le marché initial prévu serait de 50 éoliennes par an.

MMB a aussi obtenu le projet gouvernemental appelé "Growian" ("Grosse Wind Energie Anlage"). Cette étude traite de la forme aérodynamique des pales, des contraintes qui leur sont imposées et de leur structure. En ce qui concerne leur structure, le plastique renforcé de fibres de verre et le plastique armé de fibres de carbone sont en concurrence. D'après les résultats de la recherche, il semble qu'un prototype avec pales et rotor d'une seule pièce peut être considéré comme une construction réalisable qui justifiera les espoirs placés en elle.

La pale mesurera 65 m soit un diamètre de 145 m. Elle pèsera 27 tonnes et sera composée à 80 % de PRV et à 20 % d'une mousse de PVC. La fibre de verre représentera 55 % en poids du laminé. Le pylône de support mesurera 110 m de haut. Une unité coûtera 50 MM DM.

\* STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES Inc. (Etats-Unis)

Les exemples américains ne manquent pas dans ce domaine.

Ainsi, Structural Composites Industries Inc. (Californie) vient de terminer un sous-contrat de fabrication d'une poutrelle d'éolienne de 45 m de long (10 tonnes) obtenue par enroulement filamenteux (Figure 21). Celle-ci mesurant 42,5 m est la partie structurelle majeure d'une pale de 45 m et est composée à 85 % de matériau composite (fibre de verre E et résine époxyde).

Un nouveau brevet SCI conduit à un dimensionnement très économique de la poutrelle et de la pale. Cette pale géante a été construite sous contrat pour le NASA Lewis Research Center grâce aux subsides du département de l'énergie. L'objectif de ce programme est de mettre au point une technologie de dimensionnement et de fabrication de telles pales immenses comme prototype de pales encore plus grandes de 90 m de diamètre dans le cadre d'un programme de turbine éolienne génératrice de 2500 kW. (Figures 22 & 23). Chaque éolienne géante fournirait de l'électricité à environ 800 logements.

D'autres programmes semblables sont en cours parallèlement chez SCI pour la société Boeing et pour la NASA.

## 7. L'ENERGIE MAREMOTRICE ET L'ENERGIE DES OCEANS

Bien qu'en Grande-Bretagne, on envisage d'utiliser au mieux les ressources des turbines éoliennes, et que la "Central Electricity Generating Board" considère le vent comme l'une des sources d'énergie alternative les plus

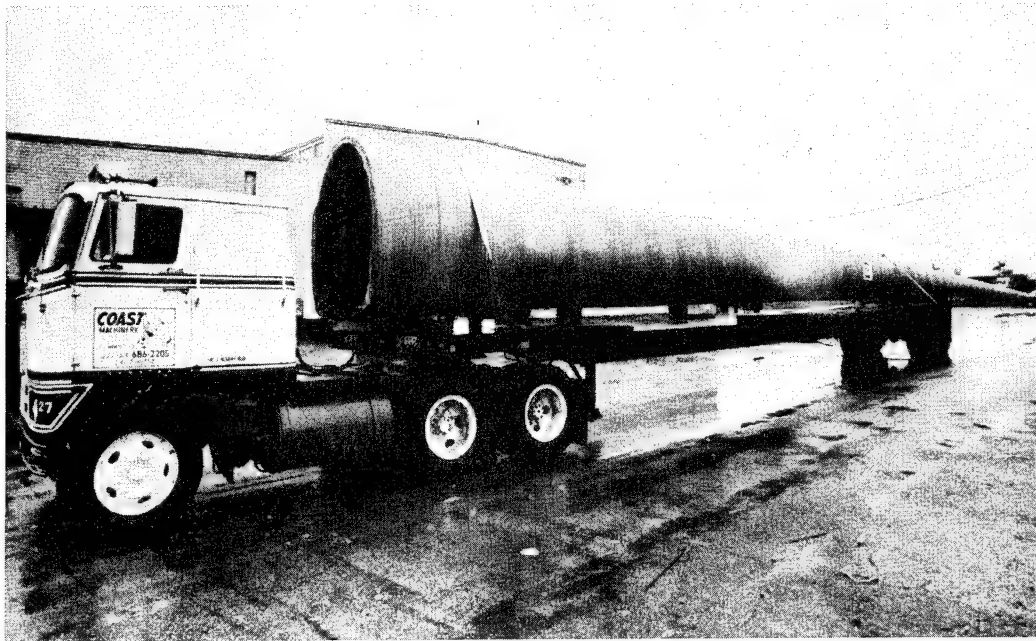


Fig. 21 : TURBINE EOLIENNE POUR LA NASA : la poutrelle structurelle pour l'une des plus grandes éoliennes du monde est livrée à la NASA.  
(STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES Inc. - Etats-Unis)

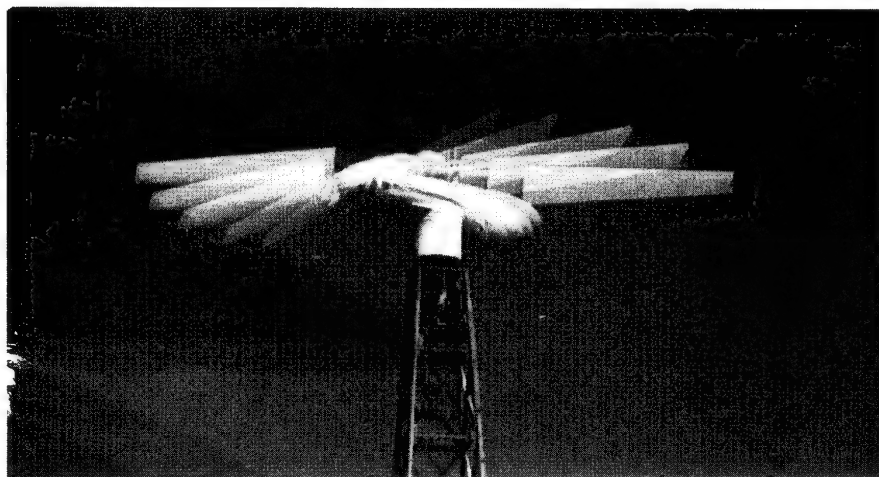


Fig. 22 : LES TURBINES EOLIENNES de 45 m de rayon en PRV obtenu par enroulement filamentaire fonctionnent entre  $-50^{\circ}\text{C}$  et  $75^{\circ}\text{C}$ , résistent aux vents violents et sous des contraintes de 14MPa et 35 MPa.  
(STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES, Inc. - Etats-Unis)



Fig. 23 : TURBINE EOLIENNE POUR LA NASA.  
Cette turbine éolienne a été construite sous contrat pour la NASA et sous subside du département américain de l'énergie (DOE)  
(STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES, Inc. - Etats-Unis)

prometteuses pour produire de l'électricité en Grande-Bretagne, on travaille également beaucoup sur les ressources marémotrices et l'énergie des océans.

Ainsi le National Engineering Laboratory de Glasgow a développé, grâce aux subsides du département britannique de l'Energie, des turbines complètes et des tuyauteries connexes en PRV pour leur oscillateur à colonne d'eau (OWC) lequel permet de générer de l'énergie électrique par le mouvement des vagues. Un tel générateur produit de l'électricité au coût de 5 à 15 p. (11.2 -33.6 U.S. cents) par kWh. Ceci se compare à la valeur de 2.7 p. (6 U.S. cents) par kWh pour une production conventionnelle d'électricité.

Des programmes relatifs à la récupération énergétique thermique des océans (OTEC) sont en cours en Europe (SPIE-Batignolles/CNEXO) et aux Etats-Unis (U.S. National Science Foundation). Dans ces programmes, on envisagerait l'utilisation de tuyaux en PRV de très grand diamètre (5 m de diamètre, 2 700 m de longueur, 0,4 bar de dépression et 50 bars de pression externe). Ces tuyaux seraient immergés le long d'une pente sous-marine jusqu'à une profondeur de -900 mètres. On récupérerait l'énergie thermique disponible ( $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ ) à l'aide de pompe à chaleur gigantesque et d'échangeur de chaleur (Jeumont-Schneider/Creusot-Loire).

## 8. LES VOLANTS D'INERTIE

Les volants d'inertie comme système de stockage énergétique associés à des modes de transport ou des applications solaires/éoliennes présentent des avantages certains d'économie de carburant. Cette forme de stockage énergétique est particulièrement intéressante pour des équipements tels que générateur électrique ou transmission automobile.

Les principes mécaniques de base régissant l'efficacité d'un volant d'inertie sont :

- . l'énergie spécifique est directement proportionnelle à la résistance mécanique du matériel et inversement proportionnelle à sa densité massique
- . le dimensionnement du volant d'inertie doit répartir la masse sur un rayon aussi grand que possible.

Un premier axe de recherche concerne l'évaluation du volant d'inertie considéré en tant que composant d'un système dans lequel on exploite sa capacité à absorber et à restituer des puissances élevées, ce qui peut être obtenu avec des volants en acier à haute résistance et suivant des techniques éprouvées. L'application à la récupération des énergies de freinage et la restitution au démarrage sur 2 rames du métro de New-York est un exemple concret. Les performances du dispositif en énergie massique sont modestes (quelques watts heure par kg de dispositif) mais l'économie d'énergie espérée est assez considérable (30 %).

Un deuxième axe de recherche concerne l'utilisation des matériaux composites à base de fibres de verre, de Kevlar, ou de carbone voire de bore. L'obtention d'énergie massique de l'ordre de 60 Wh/kg pour le volant seul est envisageable à très court terme. Il importe de noter que l'énergie réellement exploitable doit prendre en compte les accessoires (tels que carter, organes d'entrée et d'extraction de l'énergie) et également les profondeurs de décharge. Ceci se traduit par une réduction des performances et dépend de la taille du système et des conditions d'exploitation.

Des programmes de R et D sont en cours aux U.S.A, en France et en Allemagne :

- a) pour améliorer les caractéristiques physiques (contrainte de rupture, module, cohésion matrice-fibre, résistance à la fatigue) et chimiques (résistances aux agents chimiques)
- b) pour parvenir à des configurations de volant qui exploitent au mieux les possibilités des fibres.

Les progrès importants probables dans un délai de 5 à 10 ans (selon l'effort qui sera consenti) devraient ouvrir à cette nouvelle génération de volant des créneaux d'application qu'il importe de rechercher dès à présent. Parmi ces applications, celles qui exigent des stockages de courte durée à des fréquences élevées et de grande profondeur de charge et décharge, paraissent devoir être prise en considération.

Le Tableau 2 donne pour différents matériaux composites analysés le prix du matériau rapporté à l'énergie stockée.

Tableau 2 : VOLANT D'INERTIE -  
Etude comparative - Coût/performance de différents matériaux  
composites

Matériau	Résistance (ksi)	Densité Massique (lb/cu in.)	Coût Matériau (\$/lb)	Energie Spécifique (Wh/lb)	Coût matériau par unité d'énergie stockée
Kevlar 49-Epoxyde	249	0.049	6.25	79.7	78.4
Kevlar 29-Epoxyde	223	0.049	2.46	71.1	34.6
Verre S2 -Epoxyde	272	0.074	1.35	58.0	23.3
Verre E -Epoxyde	162	0.079	0.56	31.9	17.6

(Référence 37)

#### \* AEROSPATIALE (France)

En France, la Direction Générale des Télécommunications (D.G.T.) vient de signer avec l'Aérospatiale un contrat de 2,3 MM FF pour la réalisation d'un modèle expérimental d'accumulateur cinétique d'énergie (ACE) destiné aux centraux téléphoniques.

Il s'agit d'une véritable innovation : l'application terrestre des technologies de roues cinétiques à paliers magnétiques développées pour l'Espace.

Cet ACE servira d'alimentation de secours pour les centraux téléphoniques et permettra d'éviter l'interruption du service pendant les coupures de courant du réseau E.D.F.

Par rapport aux batteries chimiques actuellement utilisées, l'ACE présente les avantages suivants :

- . état de charge connu en permanence



- . pas de maintenance programmée
- . durée de vie nettement plus longue
- . pas de détérioration, ni de risque accru de panne pendant les périodes de décharge
- . temps de recharge nettement plus court.

Le modèle expérimental qui sera livré au CNET en 1980 retient 1 kWh d'énergie, restituée en 20 minutes à une puissance constante de 3 kW. Ceci est bien adapté aux besoins d'unités de secours devant faire face aux coupures ou microcoupures d'alimentation dans de nombreuses applications : blocs opératoires, centres informatiques, ascenseurs, ...

Le premier modèle sera essentiellement un prototype métallique (Figure 24). On développera ensuite des volants d'inertie en PRV assurant ainsi une plus longue durée de vie et une maintenance réduite; ils permettront également de stocker plus d'énergie à prix plus bas que dans les équipements correspondants métalliques. Ces volants d'inertie en PRV seront plus résistants mécaniquement et plus légers que leurs équivalents métalliques.

L'Aérospatiale étudie également la possibilité d'utiliser le stockage cinétique sur véhicule et prépare des versions d'ACE plus puissantes. Le développement d'une unité de 10 kWh est prévue à partir de cette année.

L'économie en carburant d'un véhicule peut être améliorée par l'utilisation d'un système hybride de propulsion qui utilise un volant d'inertie pour stocker de l'énergie de freinage. L'énergie stockée est utilisée pour l'accélération du véhicule au départ permettant ainsi à l'engin d'opérer instantanément à sa vitesse économique. Un rotor en PRV à haute performance obtenu par enroulement filamentaire semble des plus prometteurs. Les tests menés au Sandia Laboratory (U.S.) sur 4 types de volant d'inertie construit en matériaux composites produisent des rendements très favorables d'environ 40 Wh/kg. Le travail de développement se poursuit.

## 9. LES CENTRALES PRODUCTRICES D'ENERGIE

Nous en arrivons ainsi au dernier des domaines d'applications où les PRV participent de façon substantielle aux économies d'énergie. Ce domaine, non des moindres, est celui des centrales productrices d'électricité et d'eau chaude.

Dans les centrales de production, les ingénieurs de l'énergie recherchent, de manière pressante, la très grande résistance à la corrosion que les plastiques renforcés de fibres de verre (PRV) peuvent leur procurer. Aux Etats-Unis, ces ingénieurs ont trouvé dans les PRV des matériaux dont les propriétés satisfont les nouvelles exigences - pour un coût raisonnable.

L'avenir confirmera probablement que l'industrie de l'énergie est un excellent secteur de croissance pour l'utilisation de produits en PRV. Le Tableau 3 donne une liste non exhaustive des sociétés productrices d'énergie qui ont utilisé avec succès sur le site de leurs centrales des canalisations en PRV.

### \* OWENS-CORNING FIBERGLAS (Etats-Unis)

Ainsi, dans la tour de refroidissement de la centrale d'énergie de Marley aux Etats-Unis, à l'une des extrémités, deux viroles de 915 mm de diamètre et deux autres de 1 220 mm de diamètre démarrent à partir de l'arrivée d'eau au

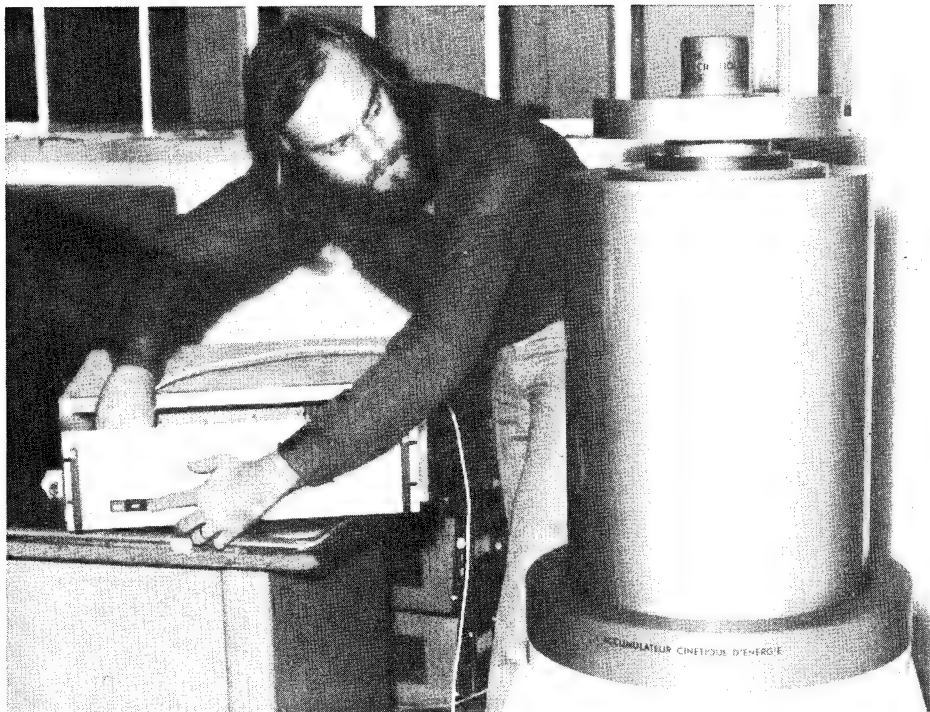


Fig. 24 : ACCUMULATEUR CINETIQUE D'ENERGIE.

Cet accumulateur cinétique d'énergie est destiné à remplacer les batteries comme énergie de secours dans les centraux téléphoniques.  
(AEROSPATIALE - France)

**LISTE NON LIMITATIVE DES SOCIETES PRODUCTRICES D'ENERGIE QUI ONT UTILISE  
SUR LE SITE DE LEURS CENTRALES LES CANALISATIONS EN PRV.**

Mississippi Power Co. Gulfport, Mississippi.	Philadelphia Electric Co. Philadelphia, Pennsylvania.	Carolina Power & Light Roxboro, North Carolina.
Sierra Pacific Power Co. Nevada.	Ohio Edison Company Lorain, Ohio.	Duke Power Company Newport, South Carolina.
Louisville Gas & Electric Co. Louisville, Kentucky.	El Paso Electric Company Newman, Texas.	Georgia Power Company Coosa, Georgia.
State University of New York Stoney Brook, Long Island, N.Y.	Gulf States Utilities West Lake, La.	Cajun Electric Power Corp. New Roads, Louisiana.
Duquesne Light Company Pittsburgh, Pennsylvania.	City of Vero Beach, Florida.	Tennessee Valley Authority Pride, Alabama.
Ruston Municipal Steam Electric Ruston, Louisiana.	Arizona Public Service, Phoenix, Arizona.	Pacific Power & Light Wyoming.
Consumer Power Company Essexville, Michigan.	Petro-Sar Chemical Sarhia, Ontario, Canada.	Commonwealth Edison Co. Byron, Illinois.
Florida Light & Power Palatka, Florida.	Gulf Power Co. Pensacola, Florida.	Arkansas Power & Light Redfield, Arkansas.
Virginia Electric & Power Dumfries, Virginia.	Utah Power & Ligh Co. Castledale, Utah.	S. Indiana Gas & Electric West Franklin, Indiana.
Charleston Bottom Power Plant Maysville, Kentucky.	Indianapolis Power & Light Petersburg, Indiana.	Cleveland Electric Illuminating Perry, Ohio.

Tableau 3

bas de la tour. (Figure 25). Ces tubes s'élèvent à une hauteur de 4,30 m pour s'adapter aux conduites de distribution. L'angle droit est réalisé au moyen de quatre parties de tube reliées entre elles par des joints plats.

L'arrivée d'eau et les conduites de sortie sont assemblées au moyen de brides boulonnées. (Figure 26).

Les facteurs clés, dans la réalisation du réseau de circulation d'eau immergé de 91 m de long (Figure 27), ont été la légèreté des canalisations en PRV et la grande longueur des éléments de conduite. Cette centrale d'énergie est située au sud de Philadelphie, sur la rivière Delaware. Ces canalisations réalisées avec des éléments tubulaires de 18,30 m de long et de 3,70 m de diamètre intérieur ont été installées environ 15 m au-dessous du niveau de l'eau. (Figure 28).

Comme la profondeur de l'eau sur le site du chantier était de 15 mètres, la société Breneman a employé des scaphandriers (Figure 29) pour guider la pose de la conduite sur les berceaux, et pour mettre les joints en place.

Sous l'eau, la visibilité était si mauvaise que les scaphandriers ne distinguaient rien. Ils ne pouvaient dire si les joints avaient été correctement mis en place qu'après s'en être assuré en les palpant manuellement.

Après que les joints par embout mâle et tulipe aient été mis en place, les scaphandriers ont utilisé quatre boulons, fixés à l'extrémité de chaque virole (deux de chaque côté, disposés à 30° par rapport au diamètre horizontal de la conduite) pour "tirer" les joints ensemble et les fixer en position.

Une fois les deux lignes entièrement placées, les conduites ont été noyées dans le béton, qui s'est élevé jusqu'à 0,60 mètre au-dessus du sommet des canalisations.

#### \* AMERON B.V. (Pays-Bas)

Les tuyauteries en PRV peuvent couvrir un autre aspect de l'utilisation techno-économique des PRV dans les industries productrices d'électricité.

Ainsi, le problème majeur du dessalement de l'eau de mer, hautement corrosive du fait de sa forte teneur en sel, est celui du choix des matériaux.

C'est exactement ce problème que l'Electricidad de Caracas a rencontré tout récemment lors de la construction de sa nouvelle centrale thermique de Tocoa, à 30 km de Caracas, dans la mer des Caraïbes.

La capacité actuelle de Tocoa est de 800 MW, soit 400 MW par unité et doit être étendue à 1200 MW dans un proche avenir. Chaque unité requiert 1500 m<sup>3</sup> d'eau salée par jour. Pour répondre à une telle installation, il fallait un matériau capable de résister jour après jour à l'agressivité de cette eau.

C'est pourquoi l'Electricidad de Caracas a choisi le projet de Hamon-Sobelco dont les deux unités de dessalement sont équipées de tubes en plastique renforcé de fibres de verre.

Hamon-Sobelco a décidé d'employer des tubes en PRV de la série Bondstrand 2000 pour leurs qualités anticorrosives, leur grande résistance aux températures élevées et à la pression qui répondent parfaitement à ce type d'application. (Figure 30).

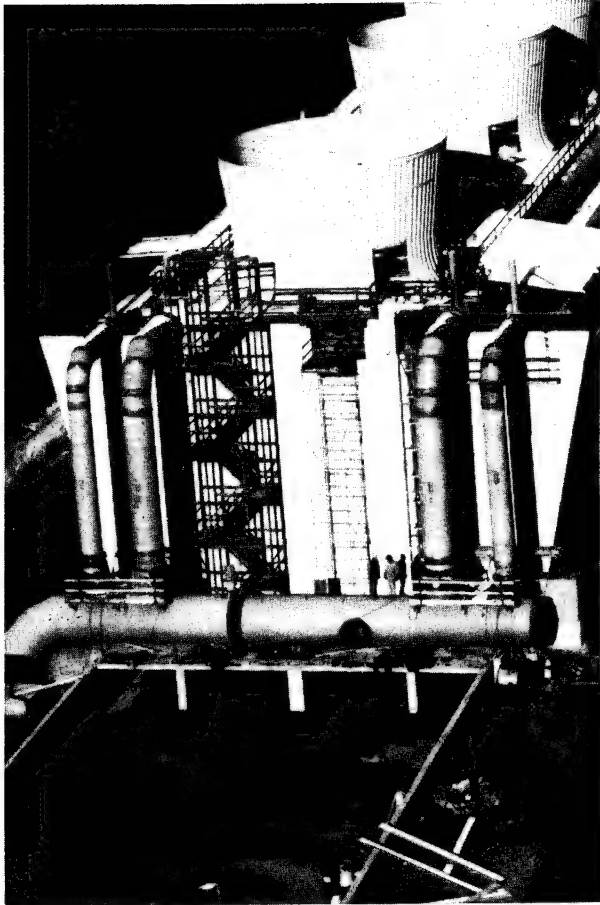


Fig. 25 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Des tuyaux de grand diamètre en PRV servent à véhiculer l'eau de refroidissement.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)



Fig. 26 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Les conduites en PRV sont assemblées au moyen de brides boulonnées.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)

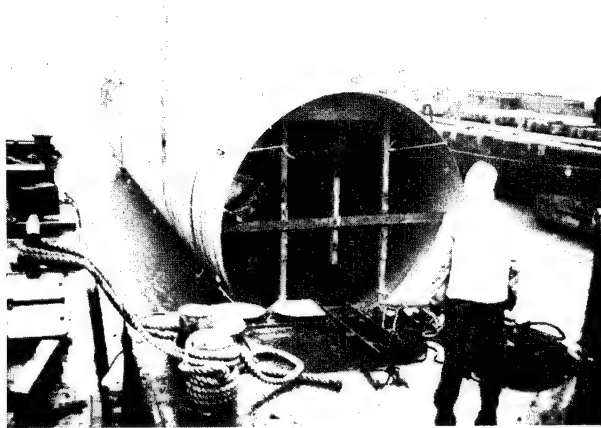


Fig. 27 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis).  
La réalisation du réseau de circulation  
d'eau immergé.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)

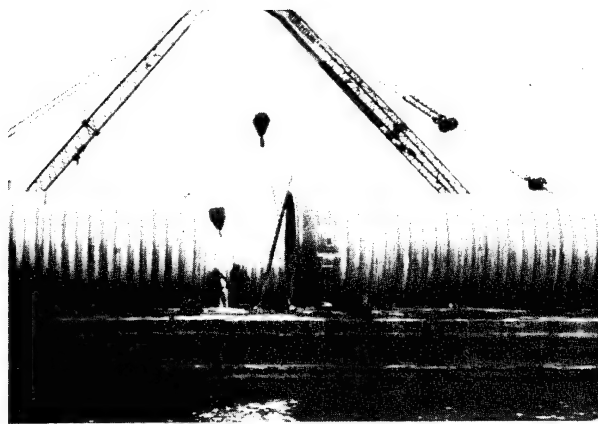


Fig. 28 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis).  
Les canalisations sont réalisées à l'aide  
d'éléments en PRV d'environ 15 m de longueur.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)

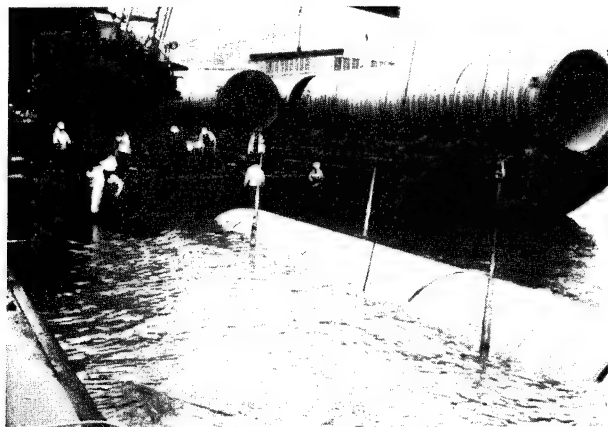


Fig. 29 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY  
(Etats-Unis).  
Des scaphandriers aident à la  
pose des conduites en PRV immergées.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-  
Unis)

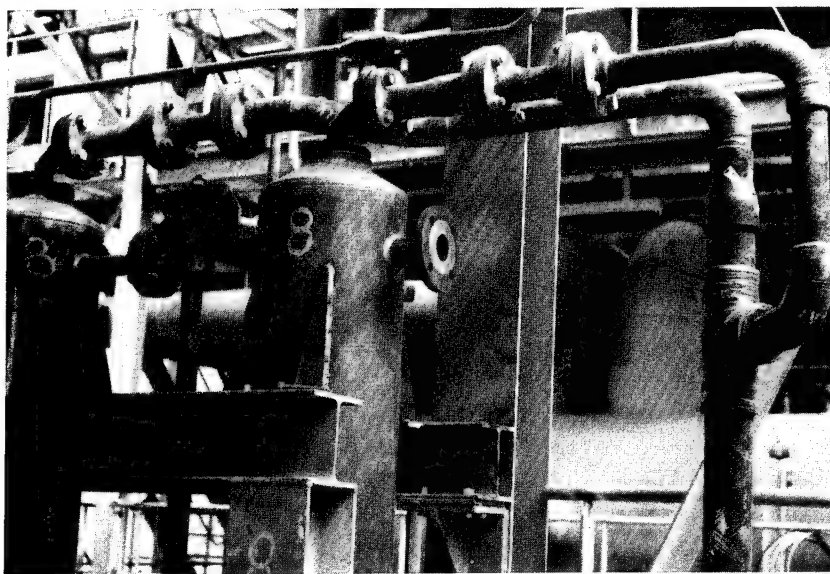


Fig. 30 : CENTRALE THERMIQUE DE TACOA (Caraïbes).  
Les tuyaux en PRV résistent à l'action corrosive  
de l'eau de mer, aux températures élevées (120°C)  
et aux pressions importantes (10 bars).  
(AMERON B.V. - AMERPLASTICS EUROPE)

Ces tubes fabriqués par Ameron B.V. et installés sur le site par Amerplastics Europa, servent principalement à la liaison des différents appareils des unités de dessalement proprement dites, à l'alimentation en eau de mer de l'installation ainsi qu'au rejet des saumures vers la mer.

Pour l'équipement de cette centrale thermique, Hamon-Sobelco devait trouver un matériau capable de résister à l'action corrosive de l'eau de mer, aux températures élevées qui pouvaient aller jusqu'à 120°C et à des pressions supérieures à 10 bars. Il n'était pas question d'employer pour ce type d'installation, des tubes d'acier, compte tenu de leur manque de résistance à la corrosion. La tuyauterie en verre ne fut pas retenue en raison de sa fragilité et de son coût élevé à l'entretien.

Les tubes Bondstrand en résine époxyde renforcée de fibres de verre offrent quant à eux, toutes les conditions requises, à savoir : une excellente résistance à la corrosion et aux températures élevées ainsi qu'à la pression. Par ailleurs, l'efficacité des tuyaux Bondstrand n'est plus à démontrer dans ce domaine d'activité qu'est le traitement des eaux et effluents corrosifs.

Cette même résistance à la corrosion protège les conduites en résine époxyde renforcée de fibres de verre des attaques de l'acide carbonique et de l'oxygène, ce qui les rend particulièrement appropriées pour l'utilisation dans les systèmes à condensation. Ainsi, l'emploi d'inhibiteurs pour prévenir la corrosion des conduites devient-il superflu.

En outre, l'état de surface intérieure de ces conduites parfaitement lisse réduit les pertes de charge et permet de choisir des diamètres de tuyauteries inférieurs à ceux requis par l'emploi de conduites métalliques.

Dans un grand nombre de cas, là où des conduites en acier résistaient un ou deux ans seulement, les conduites en résine époxyde renforcées de fibres de verre - dans des conditions identiques - restent en service pendant dix ans et plus. Pour l'utilisateur, cela peut se traduire par des économies substantielles sur la durée de vie d'une unité de dessalement.

De même, il convient de souligner que du point de vue bactériologique, l'eau dessalée répond parfaitement aux normes de potabilité.

Il est intéressant de noter que, outre les unités de dessalement, les tuyauteries Bondstrand de Ameron B.V. en résine époxyde renforcée de fibres de verre ont également été utilisées dans tous les circuits auxiliaires tels que ceux de l'eau déminéralisée, de l'eau brute servant aux refroidisseurs et aux services d'incendie...

#### \* GLASS SHIELD COATINGS (Grande-Bretagne)

Le succès que connaît le verre dans les industries de transformation ne se limite pas au renforcement des matières plastiques ni à la fibre. De minuscules écailles de verre, vendues par Owens-Corning Fiberglas sous l'appellation déposée de Flakeglas(R), trouvent un nombre grandissant d'applications en tant que base de revêtements résistants à la corrosion. Ce matériau est composé de verre C - spécialement développé pour sa haute résistance chimique - d'une épaisseur de 3 microns sur 3,2 ou 0,4 mm de diamètre. Mélangées à des résines polyester ou époxyde à hautes performances, ces écailles forment des matériaux assurant une protection très supérieure aux autres revêtements basés sur la même combinaison résine/catalyseur, mais utilisant d'autres charges telles que le mica, le silicate de calcium ou d'aluminium.



Une société anglaise a rencontré un succès marquant dans ce domaine. Il s'agit de Glass Shield Coatings, de Manchester. Utilisant des écailles Flakeglas\* comme base de ses revêtements Glassguard, elle peut faire état de quelques récentes réalisations qui confirment pleinement le mariage judicieux des écailles de verre et de la résine. Citons à cet égard l'application d'un tel revêtement sur la cheminée de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain à Grenelle. On a recouvert les pales du diffuseur à l'aide d'un revêtement à base d'écailles de verre et de Derakane\*\* sur un stratifié existant, lui-même appliqué sur ciment car ce premier revêtement s'était dégradé en moins de 12 mois. Les conditions de service au sommet de la cheminée impliquent des températures de gaz de 75°C et la présence de HCl concentré. Le pH est de 1,5. (Figure 31).

\* RIGILINE (U.S.)/RIGIDON (Grande-Bretagne)

L'une des applications les plus remarquables des enduits à base d'écailles de verre dans le domaine de l'industrie productrice d'énergie est la protection très performante contre la corrosion des épurateurs de SO<sub>2</sub> par voie humide dans les centrales thermiques alimentées au pétrole.

Par exemple, un enduit à base de paillettes de verre a été utilisé sur un épurateur dans le Minnesota (U.S.A.). Cet épurateur a pour mission d'éliminer les anhydrides sulfureux et sulfurique. Voilà cinq ans qu'il est en activité et qu'il résiste parfaitement aux agressions chimiques et abrasives de son environnement.

De nombreuses autres installations de ce type fonctionnent avec succès, depuis plusieurs années. Toutefois, le plus grand succès commercial dans ce domaine reste l'utilisation des enduits à base de paillettes de verre à l'usine Bruce Mansfield du Consortium d'Energie de Pennsylvanie.

Plus de 400 tonnes de revêtements à base de paillettes de verre ont été utilisées en 1974 pour protéger des conduites, des épurateurs, des accumulateurs et des cheminées. Par ailleurs, recouvrir le plus grand épurateur par voie humide du monde a nécessité plus de 90.000 m<sup>2</sup> de revêtement. Cet enduit à base de paillettes de verre appliqué sur de l'acier normal est revenu à une demi fois moins cher qu'un revêtement caoutchouté et à approximativement un huitième du coût d'une construction en alliage plus noble. (Figure 32).

En juin 1979, les ingénieurs de cette installation avisèrent les techniciens d'Owens-Corning Fiberglas que le revêtement à base de paillettes de verre se comportait parfaitement bien dans la plupart des zones d'applications. Les seuls problèmes rencontrés sont apparus au niveau du revêtement à base de paillettes de verre sur 4 cheminées de 5,70 m de diamètre sur 285 m de hauteur, c'est-à-dire à l'endroit des conditions de travail les plus difficiles de l'installation. Ces problèmes étaient dus à des phénomènes de cloquage et de délamination. On en détermina la cause. Elle provenait de l'utilisation d'un certain type d'acier s'oxydant très vite (type Corten).

---

\* Marque déposée d'Owens-Corning Fiberglas

\*\* Derakane, marque déposée de Dow Chemical



Fig. 31 : CHEMINEE DE LA COMPAGNIE PARISIENNE DE CHAUFFAGE  
URBAIN A GRENELLE (France).  
Un revêtement à base d'écailles de verre Flakeglas(R)  
appliqué sur ciment protège la cheminée dans des  
conditions de service très sévères.  
(Température : 75°C, pH : 1,5)  
(GLASS SHIELD COATINGS - Grande-Bretagne)

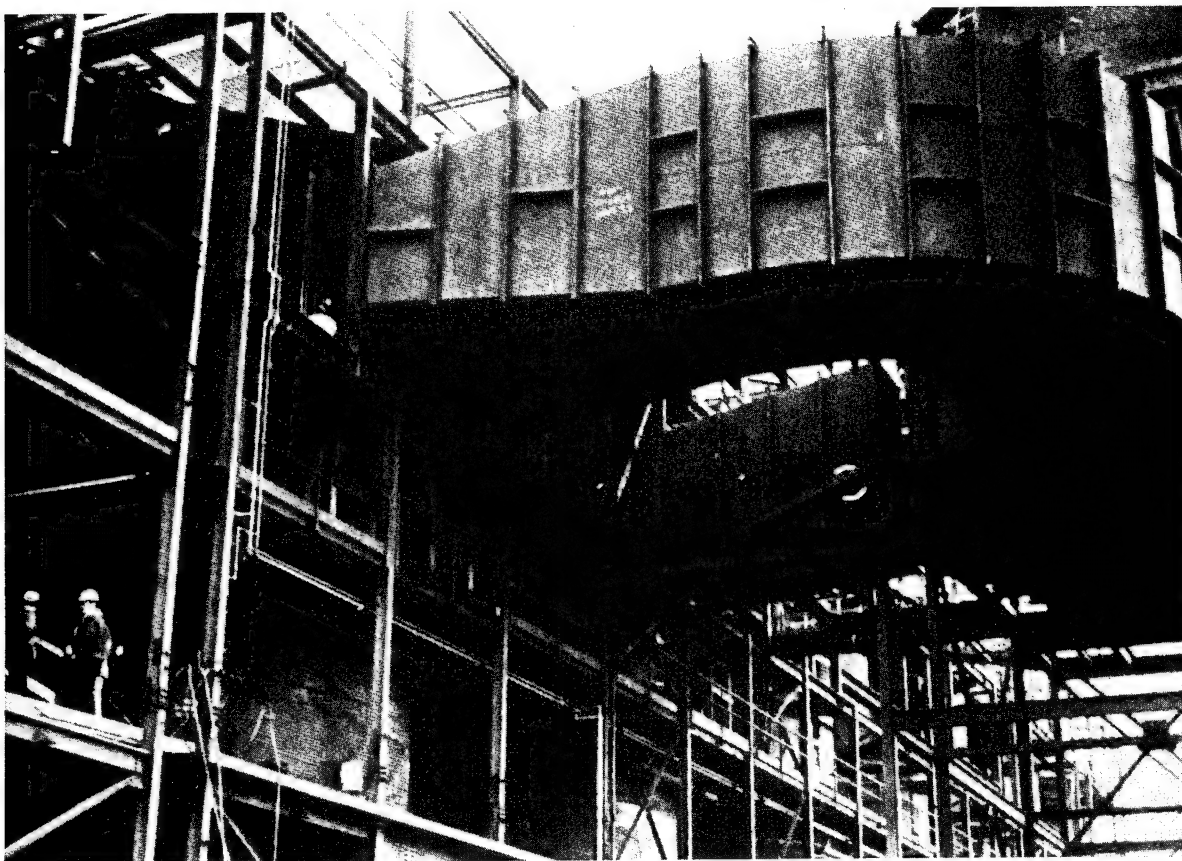


Fig. 32 : CENTRALE THERMIQUE DE BRUCE MANSFIELD (Etats-Unis).  
Un revêtement en résine polyester renforcé de  
paillettes de verre Flakeglas (R) protège les  
structures en acier de l'unité la plus importante  
au monde de lavage de gaz sulfureux et de contrôle  
de pollution atmosphérique.  
(RIGILINE - Etats-Unis)

Une barrière d'oxyde a interféré à l'interface d'adhésion au revêtement. Trois de ces cheminées ont donc dû être revêtues à l'aide d'un autre enduit par le constructeur.

On pourrait citer encore de très nombreuses applications et parmi celles-ci les usines d'épuration de gaz. En effet, les divers éléments qui les constituent sont exposés à de très sérieux risques de corrosion dus aux émanations d'acide sulfurique et de ses composés. Dans ce cas, les enduits protecteurs à base de paillettes de verre se révèlent très utiles en raison même de leur très bonne résistance aux agents chimiques.

#### \* KERAMCHEMIE (R.F.A.)

Des résultats particulièrement intéressants ont été obtenus avec les revêtements à base de paillettes de verre Keraflake\* de Keramchemie, en Allemagne, dans une usine d'épuration de gaz pour réduire les attaques corrosives d'un environnement au taux élevé en  $\text{SO}_2$ , (soit 1 500  $\text{m}^2$ ).

Dans tous les cas, ces installations consistent en une section de refroidissement, une section d'absorption, des conduites de gaz et des cuves en aval pour la régénération du fluide d'absorption. Le gaz et le liquide d'absorption ont des températures comprises entre 60 et 80°C. L'enduit Keraflake\*, employé pour le revêtement des absorbeurs permet une meilleure résistance aux acides et aux solutions alcalines. Les conduites qui doivent véhiculer du gaz à plus de 150°C sont revêtues, elles aussi, d'un revêtement Keraflake\* car celui-ci résiste aux forts changements de températures et est particulièrement imperméable ce qui est une qualité très appréciable du fait de la condensation qui peut se produire. (Figure 33).

### 10. LES TRANSPORTS

#### \* WOOLSEY MARINE INDUSTRIES (Etats-Unis)

Dans le domaine maritime, les enduits à base de paillettes de verre ont conquis le marché des revêtements des coques de bateaux et de péniches. On sait que la maintenance des parties immergées d'un bateau est l'un des facteurs importants du calcul de rentabilité d'un navire. En effet, un entretien réduit, des passages moins fréquents en câle sèche et une surface la moins rugueuse possible, qui diminue la résistance et la perte de vitesse, sont autant de facteurs qui diminuent le coût.

L'Institut Technique Norvégien (SFI) a étudié les besoins en énergie comparés à la rugosité de surface de la coque d'un tanker de 37 000 tonnes à vide. Après décapage et application du revêtement, la rugosité moyenne de la surface était réduite de 0,7 mm à 0,25 mm. Cette recherche a permis de démontrer que les revêtements à base de paillettes de verre permettaient, grâce à leurs propriétés de résistance aux chocs et aux agressions corrosives à long terme, non seulement une réduction du temps d'immobilisation en câle sèche imparti à l'entretien de la coque, mais encore d'obtenir une économie de 30 % d'énergie motrice pour maintenir une vitesse de 15 noeuds, grâce à un meilleur fini de surface.

---

\*Keraflake : marque déposée de Keramchemie

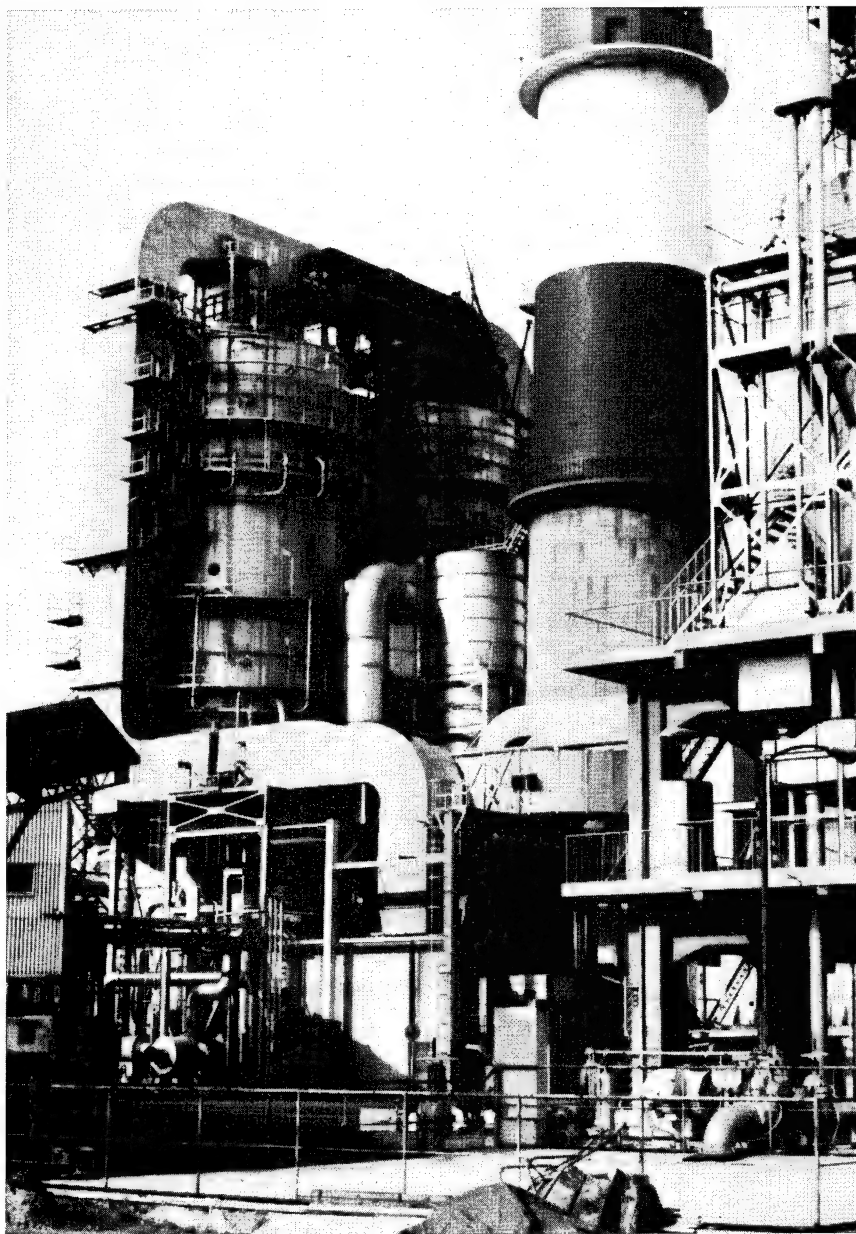


Fig. 33 : CENTRALE THERMIQUE (JAPON).

Des résultats particulièrement bons ont été obtenus avec des revêtements à base de Keraflake<sup>(R)</sup> dans cette usine d'épuration de gaz.  
(KERAMCHEMIE - R.F.A.)

Ce type de revêtement de protection marine appelé Res-N-Glas\* et développé par Woolsey Marine Industries, Inc. (Etats-Unis) est testé actuellement dans des unités en fabrication à Singapour. Il est basé sur 10 années d'expérience acquise sur les bateaux de la Navy américaine. Ainsi, un tanker de 50 000 tonnes ayant opéré durant 5 années avec 275 journées de voyage par an a enregistré une économie de maintenance et de consommation de 7,2 MM FF grâce à ce revêtement de résine polyester renforcé d'écailles de verre Flakeglas<sup>(R)</sup>. (Figures 34 & 35).

## 11. CONCLUSIONS

Depuis la fin de 1973, les problèmes énergétiques ont pris le pas et divers programmes "énergétiques" destinés à stabiliser ou économiser le niveau des approvisionnements en produits pétroliers ont vu le jour. Dans la même période, la gestion de l'énergie est devenue un des domaines d'applications des PRV les plus importants. En particulier les PRV participent de façon active dans des projets visant à économiser l'énergie tels les programmes de chauffage urbain, d'énergie géothermique, éolienne, solaire, thermique, des océans et des marées. Ils y participent depuis longtemps dans des productions plus traditionnelles de l'énergie (centrales thermiques, centrales nucléaires) et des transports.

---

\* Res-N-Glas : marque déposée de Woolsey Marine Industries (Etats-Unis)

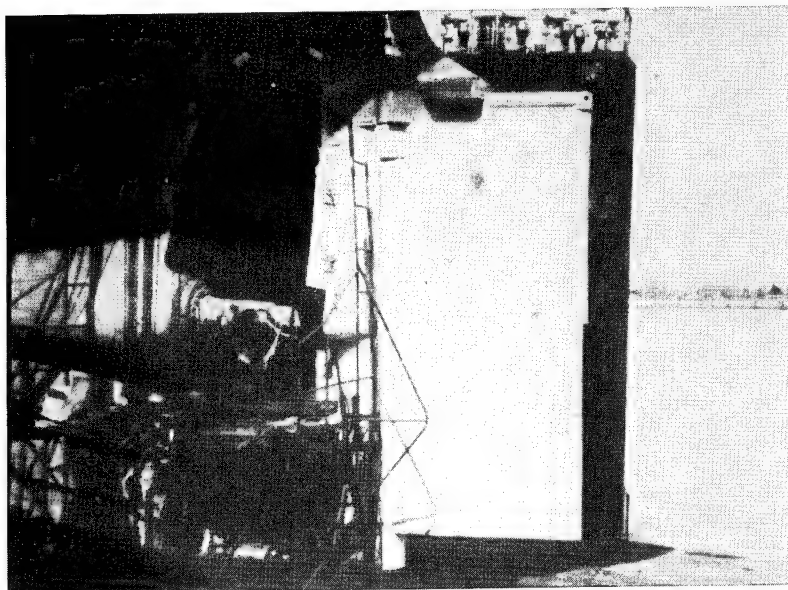


Fig. 34 : MAINTENANCE DES PARTIES IMMERGEES DE BATEAU.  
Gouvernail et membrure de poupe après 3 ans de service du  
revêtement à base de paillettes de verre Flakeglas(R).  
(WOOLSEY MARINE INDUSTRIES Inc. - Etats-Unis)

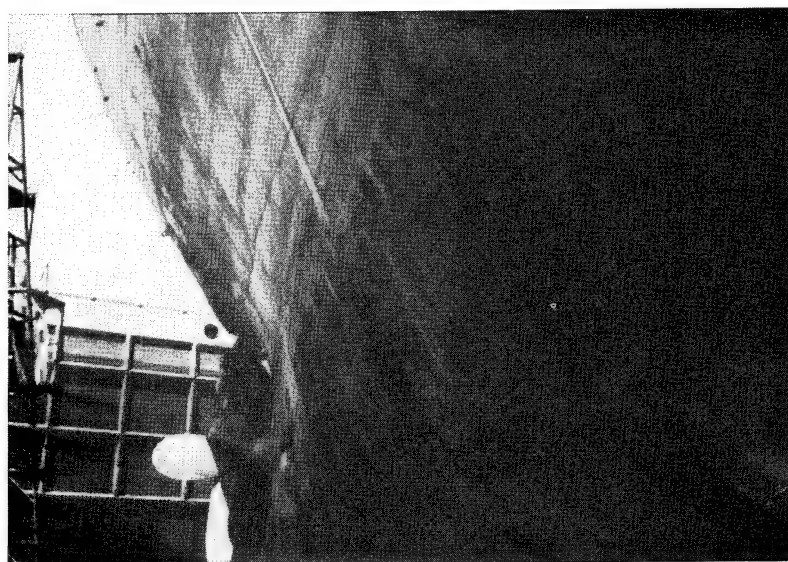


Fig. 35 : LE REVETEMENT DES COQUES DE BATEAUX ET DE PENICHES.  
Les revêtements protecteurs à base d'écailles de verre  
Flakeglas(R) ne craquèlent pas, ni ne cloquent, ni ne  
délaminent et gardent une surface lisse. Ici, cette  
coque a un an de service.  
(WOOLSEY MARINE INDUSTRIES Inc. - Etats-Unis)

## TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION
2. LE CHAUFFAGE URBAIN
  - 2.1 LE DEVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE URBAIN DANS LA COMMUNAUTE EUROPEENNE
  - 2.2 LES PROGRAMMES DE R&D EN EUROPE RELATIFS AU CHAUFFAGE URBAIN ET LE PRV
  - 2.3 LE CHAUFFAGE URBAIN : NOUVEAUX DEBOUCHES POUR LE PRV
    - \* Ameron B.V. (Pays-Bas)
    - \* Deutsche Fibercast GmbH (R.F.A.)
    - \* Oy Fiskars Ab (Finlande)
    - \* Perma-Pipe (Etats-Unis)
3. LA GEOTHERMIE
  - 3.1 LES PRV CONTRIBUENT AU DEVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE
    - \* Fiberglass Systems Inc. (Etats-Unis)
    - \* Luchaire (France)
    - \* Ameron B.V. (Pays-Bas)
    - \* Perma-Pipe (Etats-Unis)
    - \* Ciba-Geigy (Etats-Unis)
4. L'ENERGIE SOLAIRE : REALISATIONS ET PERSPECTIVES
  - 4.1 LES CAPTEURS PLANS
    - \* Solefil (France)
    - \* Klaus Esser (R.F.A.)
    - \* M.E.T. (R.F.A.)
    - \* Kalwall (Etats-Unis)
    - \* Solarshell (Afrique du Sud)
  - 4.2 LES CAPTEURS PHOTO-VOLTAIQUES
    - \* Menzolit Werke - Albert Schmidt GmbH (R.F.A.)
5. UTILISATION ENERGETIQUE DE LA BIOMASSE (gazéification et fermentation)
6. L'ENERGIE EOLIENNE
  - \* Fokker (Pays-Bas)
  - \* Université de Swansea (Grande-Bretagne)
  - \* MBB - Voith (R.F.A.)
  - \* Structural Composites Industries, Inc. (Etats-Unis)
7. L'ENERGIE MAREMOTRICE ET L'ENERGIE DES OCEANS
8. LES VOLANTS D'INERTIE
  - \* Aérospatiale (France)
9. LES CENTRALES PRODUCTRICES D'ENERGIE
  - \* Owens-Corning Fiberglas (Etats-Unis)
  - \* Ameron B.V. (Pays-Bas)
  - \* Glass Shield Coatings (Grande-Bretagne)
  - \* Rigiline (Etats-Unis)/Rigidon (Grande-Bretagne)
  - \* Keramchemie (R.F.A.)
10. LES TRANSPORTS
  - \* Woolsey Marine Industries (Etats-Unis)
11. CONCLUSIONS
12. BIBLIOGRAPHIE



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau comparatif des politiques respectives des différents pays européens dans le domaine du chauffage urbain.

Tableau 2 : Volant d'inertie. Etude comparative - Coût/performance de différents matériaux composites.

Tableau 3 : Liste non limitative des sociétés productrices d'énergie qui ont utilisé sur le site de leurs centrales les canalisations en PRV.

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : CHAUFFAGE URBAIN : Tuyaux en PRV installés dans la ville d'Hamlyn en R.F.A. (1979) (AMERON B.V. - Pays-Bas)
- Figure 2 : CHAUFFAGE URBAIN : Installation des tuyaux PRV dans la ville d'Hamlyn (R.F.A.) (AMERON B.V. - Pays-Bas)
- Figure 3 : TRANSPORT DE CONDENSAT : conduites en PRV installées dans une centrale électrique (1970) (DEUTSCHE FIBERCAST - R.F.A.)
- Figure 4 : CANIVEAUX D'ISOLATION EN PRV installés à Flensburg (R.F.A.) (1979) (Oy FISKARS Ab - Finlande)
- Figure 5 : MANCHETTE D'ISOLATION EN PRV utilisée dans l'un des projets solaires les plus importants aux Etats-Unis : le Comprehensive India Health Facility à White River, Arizona (PERMA-PIPE - Etats-Unis)
- Figure 6 : LA GEOTHERMIE. Théorie et pratique : l'eau chaude souterraine est refoulée dans un échangeur où elle cède sa chaleur
- Figure 7 : LE SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE DE VILLENEUVE-LA-GARENNE. Le derrick qui a permis à TOTAL d'opérer deux forages de 1850 m permettant l'alimentation constante en eau chaude géothermale et sa réinjection pour le système de chauffage de l'ensemble d'habitation "La Caravelle" (TOTAL - France)
- Figure 8 : LES PRV CONTRIBUENT AU DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE : dans une des sous-stations, des tuyauteries en PRV acheminent de l'eau corrosive à 65°C directement à l'échangeur de chaleur (LUCHAIRE - France)
- Figure 9 : LE SYSTEME DE CHAUFFAGE GEOTHERMIQUE A CREIL : ce nouveau système distribue l'eau chaude et le chauffage à 2 000 nouvelles habitations de la commune (AMERON B.V. - Pays-Bas)
- Figure 10 : LES PRV CONTRIBUENT AU PROJET GEOTHERMIQUE DE CREIL : l'avantage techno-économique des conduites en PRV est démontré. (Ameron B.V. - Pays-Bas)
- Figure 11 : LE MARCHE SOLAIRE (RESIDENTIEL) (Etats-Unis - Europe)
- Figure 12 : L'ENERGIE SOLAIRE CONTRIBUE AUX ECONOMIES D'ENERGIE. Conformément aux exigences des entrepreneurs qui tablent sur une durée de vie de leurs matériaux de 20 à 50 ans, les caissons des capteurs sont réalisés en PRV. (SOLEFIL - France)
- Figure 13 : CAPTEUR SOLAIRE : le caisson en PRV s'intègre parfaitement à la construction architecturale (KLAUS ESSER - R.F.A.)
- Figure 14 : CAPTEUR SOLAIRE : le caisson en PRV est muni d'un vitrage en thermoplastique structuré (M.E.T. - R.F.A.)
- Figure 15 : CHAUFFAGE SOLAIRE PASSIF : les panneaux translucides en PRV permettent à la lumière naturelle d'éclairer les maison à Weare, N.J. et à Wellfleet, Ma. (Etats-Unis) tout en alimentant des colleteurs solaires KALWALL. Ceux-ci se trouvent à l'arrière; ils sont remplis d'eau et comportent une surface absorbante de chaleur pour convertir et stocker la chaleur solaire (KALWALL - Etats-Unis)

- Figure 16 : CAPTEURS SOLAIRES ARCHITECTURAUX. L'unité compacte en PRV s'intègre avec succès dans l'esthétique de l'architecture. (SOLARSHELL - Afrique du Sud)
- Figure 17 : CAPTEUR SOLAIRE A INTEGRATION ARCHITECTURALE. Les tuiles solaires en PRV ont la forme et la couleur typique des tuiles classiques. Elles protègent les cellules solaires fragiles et coûteuses. (MENZOLIT WERKE - ALBERT SCHMIDT GmbH /R.F.A.)
- Figure 18 : TURBINE EOLIENNE A AXE VERTICAL : installée à l'aéroport de Schiphol (Pays-Bas). (FOKKER B.V. - Pays-Bas)
- Figure 19 : TURBINE EOLIENNE : les fibres de carbone sont mises en place dans la pale de la turbine éolienne. (UNIVERSITE DE SWANSEA - Grande-Bretagne)
- Figure 20 : TURBINE EOLIENNE : la pale de la turbine éolienne prototype mesure 2,3 m de hauteur. (UNIVERSITE DE SWANSEA - Grande-Bretagne)
- Figure 21 : TURBINE EOLIENNE POUR LA NASA : la poutrelle structurelle pour l'une des plus grandes éoliennes du monde est livrée à la NASA. (STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES Inc. - Etats-Unis)
- Figure 22 : LES TURBINES EOLIENNES de 45 m de rayon en PRV obtenu par enroulement filamenteux fonctionnent entre -50°C et 75°C, résistent aux vents violents et sous des contraintes de 14 MPa et 35 MPa. (STRUCTURAL COMPOSITES INDUSTRIES Inc. - Etats-Unis)
- Figure 23 : TURBINE EOLIENNE POUR LA NASA - Cette turbine éolienne a été construite sous contrat pour la NASA et sous subside du département américain de l'énergie (DOE) (STRUCTURAL COMPOSITES Inc. - Etats-Unis)
- Figure 24 : ACCUMULATEUR CINETIQUE D'ENERGIE. Cet accumulateur cinétique d'énergie est destiné à remplacer les batteries comme énergie de secours dans les centraux téléphoniques. (AEROSPATIALE - France)
- Figure 25 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Des tuyaux de grand diamètre en PRV servent à véhiculer l'eau de refroidissement. (OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)
- Figure 26 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Les conduites en PRV sont assemblées au moyen de brides boulonnées. (OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)
- Figure 27 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). La réalisation du réseau de circulation d'eau immergé. (OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)
- Figure 28 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Les canalisations sont réalisées à l'aide d'éléments en PRV d'environ 15 m de longueur. (OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)

- Figure 29 : CENTRALE D'ENERGIE DE MARLEY (Etats-Unis). Des scaphandriers aident à la pose des conduites en PRV immergées.  
(OWENS-CORNING FIBERGLAS - Etats-Unis)
- Figure 30 : CENTRALE THERMIQUE DE TACOA (Caraïbes). Les tuyaux en PRV résistent à l'action corrosive de l'eau de mer, aux températures élevées (120°C) et aux pressions importantes (10 bars).  
(AMERON B.V. - AMERPLASTICS EUROPE)
- Figure 31 : CHEMINEE DE LA COMPAGNIE PARISIENNE DE CHAUFFAGE URBAIN A GRENELLE (France). Un revêtement à base d'écailles de verre Flakeglas(R) appliqué sur ciment protège la cheminée dans des conditions de service très sévères (Température : 75°C, pH : 1,5). (GLASS SHIELD COATINGS - Grande-Bretagne)
- Figure 32 : CENTRALE THERMIQUE DE BRUCE MANSFIELD (Etats-Unis): un revêtement en résine polyester renforcé de paillettes de verre Flakeglas(R) protège les structures en acier de l'unité la plus importante au monde de lavage de gaz sulfureux et de contrôle de pollution atmosphérique. (RIGILINE -Etats-Unis).
- Figure 33 : CENTRALE THERMIQUE (JAPON). Des résultats particulièrement bons ont été obtenus avec des revêtements à base de Keraflake(R) dans cette usine d'épuration de gaz. (KERAMCHEMIE - R.F.A.)
- Figure 34 : MAINTENANCE DES PARTIES IMMERGEES DE BATEAU. Gouvernail et membrure de poupe après 3 ans de service du revêtement à base de paillettes de verre Flakeglas(R).  
(WOOLSEY MARINE INDUSTRIES, Inc. - Etats-Unis)
- Figure 35 : LE REVETEMENT DES COQUES DE BATEAUX ET DE PENICHES.  
Les revêtements protecteurs à base d'écailles de verre Flakeglas(R) ne craquèlent pas, ni ne cloquent, ni ne délaminent et gardent une surface lisse. Ici, cette coque a un an de service. (WOOLSEY MARINE INDUSTRIES, Inc. - Etats-Unis).

## 12. BIBLIOGRAPHIE

1. O.C.D.E. : Rapport sur la production et la distribution de chaleur - (Janvier 1979)
2. Commission de Bruxelles : Etude des modalités d'une croissance économe en énergie - (Novembre 1979)
3. M. Davis et A. Colling : District heating and the energy policy of the European Community  
Whole City Heating (Combined Heat and Power) Symposium (London) - (November 1979)
4. Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland - Bundesministers für Forschung und Technologie (Bonn) - (1977)
5. Journée d'Information "Chauffage Urbain" S.D.R.W. (Namur) - (Décembre 1978)
6. World Energy Conference - Minutes of International Executive Council - (Branff - Canada) - (Septembre 1978)
7. B. Bourgeois, P. Ramain : Rapport sur le chauffage urbain en France - (Paris) - Février 1979)
8. Second Report on the Community programme for the rational use of energy - Directive proposal and recommendations of the Council - (Brussels) - (Mars 1977)
9. La conception suisse de l'énergie - Commission fédérale de la conception globale de l'énergie (Berne) - (Novembre 1978)
10. A. Verbruggen : Un modèle technico-économique pour l'analyse de projet de chauffage urbain en Belgique - Gulf Energy Award - (KUL) - (Janvier 1979)
11. P.J. Angles : Fiberglass casing used in corrosive geothermal wells - Oil and Gas Journal - (October 15, 1979)
12. N. Sprecher : GRP will find its place in the European solar energy market - Owens-Corning Fiberglas Europe (1980)
13. Solar energy and its opportunities - A report produced by Aviachem Marketing Ltd.
14. FRP finds its place in the sun - Update 1, #7, (1978) (OCF publication)
15. Solar installations in W. Germany, Switzerland, Austria, U.K.- Clima Commerce International - (Promotor Verlage und Vörderungsge GmbH-Karlsruhe)
16. Solar Energy Products Markets in Europe - Frost & Sullivan Europe - (Nov. 1978)

17. G. Chiron : Utilisation des matériaux composites dans le domaine de l'énergie solaire -  
Journées du Verre Textile - (Paris) - (1978)
18. Plastics in solar heating  
The British Plastics Federation - (London) (1978)
19. Dr. S. Abrahams : Fiberglass - a construction material for greenhouses-  
Reprints of Brighton conference on GRP (1978)
20. Energy R & D program of the Government of the Federal Republic of Germany - Section Solar Energy  
(Annual Report 1976)
21. W. Palz : Solar electricity, an economic approach to solar energy -  
Butterworths - UNESCO (1978)
22. J.A. Duffie; W.A. Beckman : Solar energy thermal processes  
John Wiley & Sons (1977)
23. Solar energy, a U.K. assessment -  
International Solar Energy Society - U.K. Section (May 1976)
24. Use of plastics in solar energy applications -  
Solar Energy 21, 331 (1978)
25. J.E. Whitridge : Filon panels - a technical report  
Sunworld 2, #1, 18 (1978)
26. Polymer concrete tiles that soak up the Sun -  
Plastics & Rubber Weekly, (Nov. 3, 1978)
27. New materials/processes/designs for the solar energy market -  
Modern Plastics International (June 1977)
28. Prof.Dr.Ing.W. Dalhoff & coll. : Hochleistungs - Sonnenkollektoren  
für Flachdächer -  
Kunststoffe im Bau 13, #1, 1 (1978)
29. Solar Energy Systems. Survey of Materials Performance.-  
National Bureau of Standards, Washington D.C. (Oct. 1977)  
(PB. 273.305)
30. Energie 1976, overwegingen ten behoeve van een Nederlands Nationaal  
Programma voor energieonderzoek.  
Tweede Interimrapport van de LSEO - (Augustus 1976)
31. Voorstel Nationaal Onderzoeksprogramma Windenergie.  
Project Voorbereidings Groep Windenergie-(Juni 1975)
32. H.J. Wormgoor : Windenergieberekeningen voor windturbines.  
Afdeling Stafbureau Energiesystemen van het Energie-onderzoek Centrum  
Nederland (Petten) - (Juni 1978)
33. C. Deane McCarthy : Wind Energy, Cost Effectiveness is the Key -  
(United Aircraft Corp.)  
STU-publicatie nr. 52-1976, pagina 623, ex. Workshop Proceedings,  
(Stockholm) (1974)

34. Materials and Processing Approaches to Cost Competitive Wind Turbine Rotor Blades -  
Sampe Quarterly - (January 1977)
35. Harry Davitian : Wind Power and Electric Utilities : A Review of the Problems and Prospects -  
Department of Energy and Environment U.S.A., Wind Engineering 2, #4, 234 (1978)
36. J.A. Rolston and S.N. Loud : Fiber Glass for Composite Flywheels -  
Owens-Corning Fiberglas Publ. No.5-EL-7462 - (July ) (1976)
37. James H. Swisher and Kevin M. Myles : Materials Innovations in the development of Energy Storage Systems -  
J. Materials for Energy Systems 1, 5 (June 1979)
38. E.D. Reedy Jr and H.K. Street (Sandia Laboratory)  
SAMPE Quarterly 10, 36-41 (April 1979)
39. P.F. Moore, N. Sprecher : Aux Etats-Unis, les PRV permettent de maîtriser les problèmes de corrosion rencontrés dans les centrales d'énergie -  
Owens-Corning Fiberglas Europe (1979)
40. N. Sprecher : Les enduits à base d'écailles de verre - Flakeglas (R) - passé, présent, avenir -  
Owens-Corning Fiberglas Europe (1980)
41. P.A. Mangarella & W.E. Heronemus : Thermal properties of the Florida current as related to Ocean Thermal Energy conversion (OTEC) -  
Solar Energy 22, 527 (1979)

MILIEUTECHNISCHE ASPEKTEN ROND DE VERWERKING VAN ONVERZADIGDE  
POLYESTERHARSEN

TECHNICAL ASPECTS OF ENVIRONMENTAL PROTECTION DURING PROCESSING  
OF UNSATURATED POLYESTER RESINS

Ing. G. BRUGMAN,

L.I.R.I. , Technical Service Manager

Synres, Hoek van Holland, The Netherlands

SAMENVATTING

Monostyreen is een van de monomeren die zeer courant worden gebruikt in onverzadigde polyesterharsen. Bij het behandelen van deze harsen door middel van zogenoemde open technieken kan zich een vrij hoge styreen-afgifte ontwikkelen. In deze inleiding worden de binnen het bereik van de industrie liggen de mogelijkheden om deze afgifte te beperken nader toegelicht.

SUMMARY

Monostyrene is one of the most commonly used monomers in unsaturated polyester resins. By processing these resins through middle of the so-called open technics, a reasonably high styrene emission can develop. During this lecture possibilities to reduce this emission, which are available to the industry, will be highlighted.



TITLE OF THE CONTRIBUTION : MILIEU-TECHNISCHE ASPEKTEN ROND DE VERWERKING  
VAN ONVERZADIGDE POLYESTERHARSEN

Author(s) name(s)

ING. G. BRUGMAN

Address

SYNRES NEDERLAND B.V., HOEK VAN HOLLAND

Het doel van deze korte lezing is niet een diepgaande uiteenzetting te geven op welke wijze een polyester werkplaats uitgevoerd dient te zijn teneinde op aanvaardbare manier zonder risico van gezondheidsaantasting in deze werkplaats mensen te laten functioneren.

Het zou niet getuigen van realiteitszin te denken een zo'n complex onderwerp, bestaande uit persoonlijke hygiëne, stofpreventie, brandpreventie, luchtzuiveringssystematiek enz. in vijftien minuten te behandelen.

Een onderwerp dat echter in de loop der zeventiger jaren steeds meer in de belangstelling is komen te staan, is dat van z.g. "milieu-vriendelijke" polyesterharsen ook wel L.S.E. (Low Styrene Emission) harsen genoemd.

Hoewel L.S.E.-polyesterharsen slechts een bescheiden bijdrage leveren tot verbetering van milieu-omstandigheden tijdens verwerking, lijkt het toch zinvol eens te zien in hoeverre ze kunnen bijdragen.

Hoewel het begrip "milieu-vriendelijk" zich reeds een genestelde plaats in het Nederlandse, Engelse en zelfs Duitse vakjargon heeft verworven, geloof ik dat dit verkeerd is gekozen en zelfs misleidend is. Immers, dit soort harsen levert een bijdrage tot vermindering van styreendampconcentratie doch is geenszins de waterdichte oplossing.

Ik zou willen pleiten voor de afkorting L.S.E.: Lage Styreen Emissie.

Waarom L.S.E. hars.

Met name bij de z.g. open-matrijsmethodes waarbij de hars tijdens verwerking en harding niet is afgedekt, zoals bij de z.g. handlay-up, spuit- en wikkelmethode, kan zich t.g.v. verdamping, een vrij hoge styreendampconcentratie in de atmosfeer van de werkplaats ontwikkelen. Het is met name in het stadium tussen beëindiging van het rollen en uitharden dat L.S.E. harsen styreenverdamping tegen-gaan.

Alvorens dieper in te gaan omtrent werking en uitwerking van L.S.E.-harsen, eerst iets meer over de stof styreen, waar het in wezen om begonnen is.

Styreen

Styreen, ook wel monostyreen, vinylbenzeen of phenylethyleen genoemd, is een kleurloze, waterheldere vloeistof met sterk penetrante geur.

De zg. reukgrens ligt rond 0,5 ppm.  
Een ppm is 1 volumedeel per miljoen volumedelen lucht.

Styreen bezit, door z'n structuur, de eigenschap onder bepaalde omstandigheden chemische bindingen met zich zelf aan te gaan waardoor een z.g. homo-polymeer en in dit geval polystyreen, een veel gebruikt thermoplastisch materiaal, ontstaat.

Bij onverzadigde polyesterharsen wordt styreen toegepast met een tweeledig doel, nl. om de i.h.a. harde polyestersolid op te lossen en af te dunnen tot een voor de verwerking aanvaardbare viscositeit. Een tweede en even belangrijke functie is dat styreen de eigenschap bezit t.g.v. een chemische reactie de polyestermoleculen aan elkaar te koppelen waardoor een niet meer te vervormen polymeer ontstaat met de, naar ik aanneem, voor u bekende eigenschappen.

De reden om styreen in polyester toe te passen i.p.v. andere monomeren (er zijn er vele) kan als volgt worden samengevat:

- het is een zeer veel gebruikte stof o.a. ter vervaardiging van polystyreen en acrylonitrilbutadienstyreen (ABS) waardoor de prijs en het aanbod relatief gunstig zijn
- het geeft de polyester een hoge mate van reaktiviteit, waardoor verwerking in hoog tempo mogelijk is
- het heeft een voor polyesters goed oplossend karakter met goede afdunningskarakteristiek

Naast het reeds genoemde nadeel dat styreen een sterk penetrante geur bezit, oefent het een sterk prikkelend effect op de slijmvliezen uit, waardoor oogirritaties en bemoeilijkte ademhaling ontstaan. Bij toenemende concentraties boven 400 p.p.m. kan een verminderde eetlust en energie ontstaan waarbij tevens gevoelens tot braken kunnen optreden. Bij concentraties boven 10.000 p.p.m. (42 gr per m<sup>3</sup> lucht) kan styreen een gevaar opleveren voor longen en centraal zenuwstelsel.

Zonder verder in te gaan op de eventuele gevolgen van langdurige blootstelling (ik moge verwijzen naar publicaties van o.a. Prof. Dr. Zielhuis) lijkt het duidelijk dat styreen geen milieu-vriendelijke stof genoemd kan worden.

Voor verwerking van styreen-monomeer of styreen-monomeer bevattende stoffen is men gekomen tot het opstellen van uiterste begrenzings van concentraties in de lucht, waaraan de mens gedurende bepaalde tijd blootgesteld mag worden.

Deze begrenzing wordt uitgedrukt in de z.g. M.A.C.-T.G.G.-waarde. De Maximaal-Aanvaardbare-Concentratie van, in dit geval, styreendamp, is de, over de tijd gemiddelde concentratie waarvan, voor zover de huidige kennis reikt, kan worden aangenomen dat deze op den duur zonder schade door de mens kan worden verdragen wanneer hij daarin regelmatig gedurende 8 uur per dag en niet meer dan 40 uur per week arbeid verricht.

Voor Nederland en praktisch alle EEG-gebonden landen geldt een MAC-waarde van 100 p.p.m. wat overeen komt met 420 mg/m<sup>3</sup> lucht.

Wij hebben de indruk dat wellicht in de loop der tachtiger jaren de Nederlandse MAC-waarde zal worden gehalveerd tot 50 ppm als tijd-gewogen gemiddelde (T.G.G.) met als bovenbegrenzing 100 ppm. Nederland zal daarin overigens niet alleen staan.

Waarvan is de mate van styreen-emissie afhankelijk?

Er is een aantal factoren die dit sterk kan beïnvloeden, t.w.

a) de toegepaste verwerkingstechniek

Het spreekt vanzelf dat open-matrijsmethodes als handlay-up, spuiten en wikkelen de grootste emissie geven. Met name tijdens het spuiten van polyesters kan een vrij grote emissie ontstaan en zeker indien de toegepaste hars een voor de spuit-unit niet aangepaste viscositeit bezit.

b) de temperatuur van de hars.

c) de temperatuur in de verwerkingsruimte

d) de gateringstijd, de doorhardingssnelheid en de hoogte van de peak exotherm in het laminaat.

Dit laatste wordt vaak sterk beïnvloed door de laminaat-dikte.

e) het totaal laminaat oppervlak.

f) luchtbeweging rond het laminaat t.g.v. b.v. tocht of sterke afzuiging.

g) het styreengehalte van de polyesterhars.

Bij gelijk blijvende viscositeit zal het styreengehalte toenemen bij toenemend moleculair gewicht, m.a.w. polyesters met hoge solid-viscositeit bezitten een relatief hoog styreengehalte.

Door nu het moleculair gewicht te verlagen is het dus in principe mogelijk het styreengehalte te verlagen.

De consequentie is echter groot daar door verlaging van het mol-gewicht de fysische en chemische eigenschappen sterk worden beïnvloed in negatieve zin.

Het lijkt duidelijk dat, wil men een totale eliminatie van styreen-dampontwikkeling, men eigenlijk dit monomeer zal moeten vervangen door een niet of in ieder geval minder schadelijk monomeer. Of dit, economisch gezien, een haalbare kaart zal zijn blijft vooralsnog te betwijfelen.

Om in ieder geval een deel van de emissie te onderdrukken, is door ons een polyesterhars ontwikkeld dat m.n. in het z.g. consolidatiestadium de emissie zeer sterk reduceert.

Het L.S.E.-mechanisme van dit inmiddels met veel succes op de internationale markt gebrachte type is o.a. gebaseerd op twee principes, t.w. de vorming van een was-achtige film aan het laminaatoppervlak, waardoor styreenverdamping zeer sterk wordt vertraagd en het toepassen van een speciale versneller waardoor m.n. de exotherme warmtepiek in relatief dikke laminaten wordt gedrukt.

Filmvorming in polyesters m.b.v. paraffine of wasachtige stoffen is een principe dat reeds jaren wordt toegepast om een kleefvrij laminaatoppervlak te bewerkstelligen.

Deze kleefvrijheid ontstaat omdat deze paraffine-film de hars afsluit waardoor zuurstofinhibitie wordt voorkomen.

Hierdoor is het mogelijk dat de polyester zelfs tot in de uiterste oppervlakte laag kan verknopen of polymeriseren.

Een gevolg hiervan is dat, wanneer op een dergelijk laminaat na enige

tijd wordt verder gelamineerd, er weinig of geen hechting meer wordt verkregen.

Deze tijdsduur is sterk afhankelijk van het M.Z.A. of fumaarzuurgehalte van de hars of m.a.w. de graad van onverzadigdheid; het toegepaste uithardingssysteem en de laminaatdikte.

Het door ons gevoerde onderzoek heeft zich in eerste instantie gericht op het elimineren van dit z.g. delaminatieprobleem.

Als test-methodes worden de Britse Standaard Methode BS 2782: deel 3: methode 341A: 1977 (determination of apparent interlaminar shear strength of reinforced plastics) en de z.g. lap-sheartest toegepast (bijlage 1 TNO-rapport, blz. 3 en 4).

Bij de uitvoering van de lap-shearbeproeving is aan beide zijden van de overlapping een stukje tape van 5 mm-aangebracht zodat een initiëring van een eventuele afschuiving zou plaatsvinden op het te onderzoeken grensvlak.

#### Apparent shear (bijlage 2)

Deze beproeving wordt ook wel de short-beamtest genoemd. Bij de vervaardiging van de proefstukken zijn de volgende lamineerintervallen aangehouden: 3 uur, 6 uur, 24 uur, 48 uur, 4 dagen, 7 dagen en 7 dagen, gevolgd door een naharding van 16 uur 40°C.

De conditionering van de proefstukken was bij 25°C bij een relatieve vochtigheid van 55%.

Als parameter werd een laminaat nat-in-nat vervaardigd. (z.g. blanco-beproeving).

Elke beproeving werd in 10-voud uitgevoerd waarbij het rekenkundig gemiddelde als eindwaarde werd genomen.

De beproevingen werden uitgevoerd op een ZWICK-elektronische test-bank, type 1464. Druksnelheid IMM:MIN.

Onderstaand het resultaat, waarbij tevens de standaard-deviatie is opgenomen:

	BLANCO	3 uur	6 uur	24 uur	48 uur	4 dgn	7 dgn
M Pa	18,23	17,89	19,23	16,80	15,92	15,99	16,33
St.D.	1.38	0.91	1,10	0,81	0,71	1,21	0,69

7 dgn + naharding

M Pa	18,57
St.D.	1,69

Opgemerkt zij dat de staafjes niet door afschuiving maar door trek (zie figuur 2 van bijlage) zijn bezweken.

#### Lap-shear (afschuifsterkte, gemeten aan een overlapping)

Dit onderzoek is door ons in handen gegeven van het KUNSTSTOFFEN EN RUBBERINSTITUUT T.N.O. te Delft.

Dit INSTITUUT kwam tot de konklusie dat de in de hars aanwezige filmvormer geen negatief effect geeft op de interlaminaire hechting, zelfs niet na een lamineeronderbreking van 14 dagen bij 22°C.

Een derde, bij SYNRES uitgevoerde hechtproef, was er één van simpeler aard, doch zeer effectief.

Op een 6 mm dik laminaat werd na 7 dagen een tweede laminaat aangebracht waarbij zorg werd gedragen dat de beide einden van dit laminaat, door gebruikmaking van een lossende folie, niet met het onderliggende laminaat in kontakt kwamen.

Na 7 dagen werd m.b.v. een wig getracht deze beide laminaten van elkaar te scheiden. Het ontstane breukvlak liep echter door het laminaat en niet door het grensvlak. Gaarne de eerste vier dia's.

#### L.S.E. gedrag

Om een indruk te krijgen van de mate van styreen-emissie werden laminaten vervaardigd bestaande uit 5 lagen chopped strand mat en geïmpregneerd met hars tot een glaspercentage van  $\pm 33,0$  gew.%.

Deze laminaten bezaten een ronde vorm met diameter van 282 MM. Verwerkingstijd  $\pm 6$  minuten.

Vervolgens werden deze "schijven" op een elektronische digitale balans (0,01gr nauwkeurig) geplaatst en er werd getarreed. Deze balans bevond zich in een ruimte van 100 x 100 x 50 cm. om luchtwerveling te voorkomen.

De styreenemissie, gemeten tegen de tijd, vindt u op bijlage 3. Vermeld zij dat in deze bijlage karakteristieken zijn weergegeven van het L.S.E. hars SYNOLITE 528-59-3951 en een standaard orthophthaalzuur gebaseerd, thixotroop, middel-reaktief polyester met een styreen-gehalte van 40,0 gew.%.

Over een periode van 2 uur kan een gemiddelde styreen-uitstoot bij het standaard polyester worden bepaald op  $60 \text{ gr/m}^2/\text{h}$  terwijl het L.S.E.-type een gemiddelde uitstoot geeft van  $7 \text{ gr/m}^2/\text{h}$ .

Het KUNSTSTOFFEN en RUBBERINSTITUUT TNO herhaalde deze beproeving, zij het dat de meting werd uitgevoerd aan een 5 mm dik laminaat met afmeting 300 x 300 MM, terwijl het geheel werd gemeten in een z.g. afzuigkast of zuurkast, waarbij sprake was van enige natuurlijke luchtstroming.

Als conclusie stelde dit INSTITUUT dat de styreen-emissie van het L.S.E. type, in vergelijking met het bovenomschreven standaardtype, drie keer zo laag was. (bijlage 1 blz. 2, punt 1.4)

Praktische emissiemetingen werden door ons uitgevoerd op het SYNRES-technikum alswel bij een aantal polyester-verwerkende bedrijven.

Deze bepalingen werden uitgevoerd m.b.v. een MIRAN STYRENE VAPOR ANALYZER TYPE 101. Analyse is hierbij gebaseerd op infra-rood detectie. Met dit apparaat (waarmee we ook bij u willen meten) is het mogelijk continue metingen te verrichten. Gaarne de dia's 5 t/m 9.

Bijlage 4 geeft u een inzicht omtrent het verloop van de styreenemissie direct na consolidatie van een standaard type en het L.S.E. type gemeten op  $\pm 15$  cm boven de verstijvingsrand van een tuinvijver. Deze plaats is met opzet gekozen daar men kan verwachten dat de concentratie op dat punt het hoogst zou zijn. De vijver bezat een afmeting van  $\pm 1 \times 1,5 \times 2$  m. Laminaatdikte 3 à 4 mm.

O.b.v. praktische metingen kan gesteld worden dat door toepassing van het SYNRES LSE-type SYNOLITE 528-59-3951 de styreendampconcentratie m.n. in het consolidatiestadium met 60 à 70% kan worden gereduceerd. Een niet te verwaarlozen economisch aspekt is dat door deze vermindering tevens de verversingsfrequentie van lucht teruggebracht kan worden.

Iets over SYNOLITE 528-59-3951.

Dit is een orthophthaalzuur, laag visceus, thixotroop, voor-versneld type, geschikt voor handlay-up en spuittechnieken. SYNOLITE 528-59-1085 is de niet-voorversnelde versie, waarbij echter de mogelijkheid bestaat zelf eventueel de speciale lage-piek versneller, SYNOLITE QX 20, toe te voegen. (bv. in 2-komponentensystemen).

Beide harstypes bezitten een LLOYD'S goedkeur. Een NORSKE VERITAS-keur is in aanvraag.

In bijlage 5 vindt u alle aanvullende gegevens.

Resumerend zou ik het volgende willen stellen:

Natuurlijk leveren L.S.E.-harsen als SYNOLITE 528 een positieve bijdrage tot het onderdrukken van styreendampontwikkeling, zoals u, naar ik hoop, uit deze lezing heeft kunnen opmaken.

Echter, naast toepassing van dergelijke types is het zaak door goede en doordachte ventilatie en plaatselijke afzuiging de concentratie nog verder te reduceren.

Ik zou er als laatste nog op willen wijzen zorg te dragen dat van goed afsluitende, beschermende werkkleding gebruik wordt gemaakt om m.n. het contact met styreen of styreenhoudende stoffen te vermijden.



kunststoffen en rubber instituut 

plastics and rubber research institute

REPORT NR. 469/'79

**DETERMINATION OF THE SHEAR-STRENGTH OF  
GRP-LAMINATES, MANUFACTURED WITH AN  
ENVIRONMENTAL UP-RESIN AND MEASURING OF  
THE STYRENE EMISSION AFTER LAMINATING.**

Instituut van de Nijverheidsorganisatie TN  
Schoemakerstraat 97  
Postbus 71, 2600 AB Delft, Holland  
Telefoon (015) 569330  
Telex 31453 zptno nl

Delft, 1979-12-12

**Sponsor**

: Synres Nederland B.V.,  
Slachthuisweg 30  
3151 NX HOEK VAN HOLLAND  
The Netherlands

**Carried out by**

: Processing Department  
(J.I. van der Meulen)

**Ordernumber KRI**

: 200.160.070

**Contents**

: 1. CONCLUSIONS  
2. INTRODUCTION  
3. EXECUTION OF THE INVESTIGATION  
    3.1. Materials  
    3.2. Manufacture of test laminates  
    3.3. Mechanical investigation and  
        test results  
    3.4. Styrene emission  
4. DISCUSSION

1979-12-12

## 1. CONCLUSIONS

- 1.1. Very small differences in adhesion are found between successive layers laid at intervals of 0 - 2 - 4 - 7 and 14 days.
- 1.2. Shearing mainly takes place in one of the facing chopped strand mat layers.
- 1.3. The adhesion between layers laid at intervals varying in time from 0 to 14 days at a temperature of about 22°C is not affected by the presence of the filmforming agent in Synolite 528-59-3951.
- 1.4. The styrene emission of the resin Synolite 528-59-3951 (with filmformer) is 3 times lower than of a standard UP-resin under the same circumstances:

	Resin type 3951	=	31 g/m <sup>2</sup>
standard	resin type	=	92 g/m <sup>2</sup>

measured over a period of 100 minutes.

## 2. INTRODUCTION

By processing UP-resins part of the styrene-monomer will evaporate, thus causing air pollution. Since work-shop regulations demand lower emission-rates, special types of UP-resins are made. These special resins, called environmental resins, contain additives which minimize styrene evaporation. The additives act as filmformers and questions can arise whether the adhesion between the successive layers in a laminate might be adversely affected.

On request of Synres Nederland B.V., Hoek van Holland, an investigation was carried out to establish the adhesion between the successive layers of GRP-laminates and to measure the styrene emission after a laminate has been completed. The adhesion between layers can be judged by measuring the shear-strength and observing the overlaps after testing.



1979-12-12

The Plastics and Rubber Research Institute TNO, Delft, The Netherlands, manufactured GRP-laminates from a sample of UP-resin supplied by the sponsor. These laminates were constructed at varying time intervals between successive layers of chopped strand mat.

After curing the shear-strength was measured to learn whether or not the adhesion was influenced by film-forming of the additive.

Also the styrene-emission of completed laminates constructed with the two resins was measured before and after the resins gelled and cured at 22°C. One of the two resins did not contain any additive and was used as a reference.

### 3. EXECUTION OF THE INVESTIGATION

#### 3.1. Materials

The sponsor supplied two types of UP-resin:

a. Synolite 528 - 59 - 3951.

This resin contains an additive which acts as a film-former. It is a so called environmental-resin.

b. A standard UP-resin.

This resin does not contain a film-forming additive.

The resin of type 3951 was pre-accelerated.

To cure the resins, Butanox M50 (Akzo-Chemie) a 50%

Methyl Ethyl-Keton Peroxyde was used as catalyst.

NL-49, a cobalt-soap, containing 1% Cobalt was used as the accelerator for the standard type UP-resin.

The sponsor also supplied a woven roving of 600 gr/m<sup>2</sup>. The chopped strand mat used was Stratimat M-4 weight  $\frac{1}{2}$  oz/foot<sup>2</sup> (450 gr/m<sup>2</sup>) (Vetrotex).

The release agent used was QZ-11 B (Ciba-Geigy).

#### 3.2. Manufacture of the test laminates

The test pieces were cut from laminates of the following construction:

Fig. 1

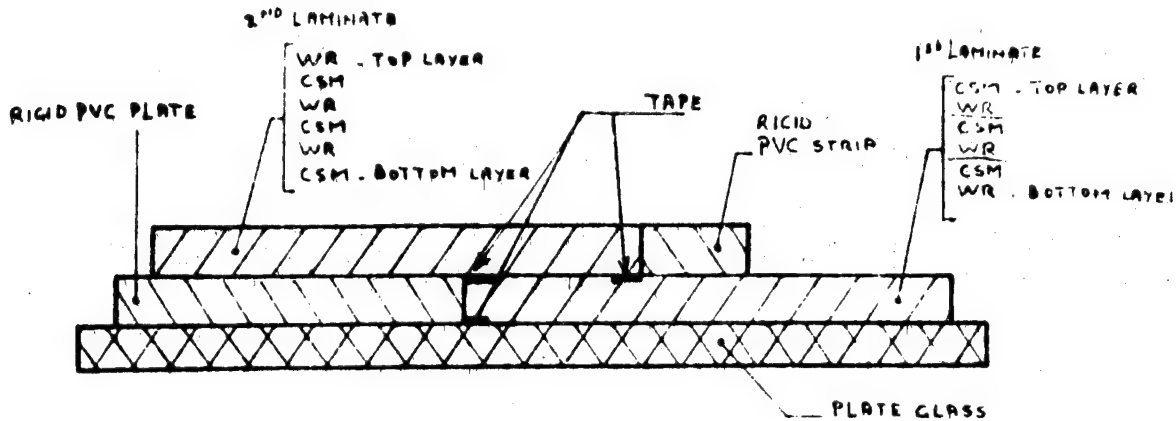


3 layers of chopped strand mat 450 gr/m<sup>2</sup> (CSM)  
3 layers of woven roving 600 gr/m<sup>2</sup> (WR)

1979-12-12

Each laminate consisted of two parts of the same construction:  
WR - CSM - WR - CSM - WR - CSM,  
The two parts facing each other with a layer of CSM at the  
point of overlap.

The construction of the laminates was carried out such that:  
on both sides of the overlap a small area ( ca. 5 mm) was  
covered with tape, thus leaving a space for shear of 5 mm.  
On this tape a parting agent was applied.  
In this way an initiation point for failure was created.  
While testing the specimen the shear force was applied  
perpendicular to the warp of the glass-reinforcement (WR).



All six layers were laminated wet-in-wet.

1979-12-12

The overall weight of the six pieces of glass-reinforcement was 128 gr.; 210 gr. of resin were mixed with 2,1 cc Butanox M50. Laminating and curing took place at 22°C.

The second part was laminated after the appointed time interval. The intervals were: 0,2, 4, 7 and 14 days.

On one occasion the first part of the laminate was cured for 24 hours at 22°C, followed by an aftercure at 60°C during 8 hours, before construction of the second part.

Before laminating of the second part two strips of tape were sticked to the surface, leaving a space of 25 mm between these tapes. After that a strip of rigid PVC was placed on top of the first laminate, adjusted in the right position and secured in place.

The following laminates were made with Synolite 528-59-3951.

TABLE 1

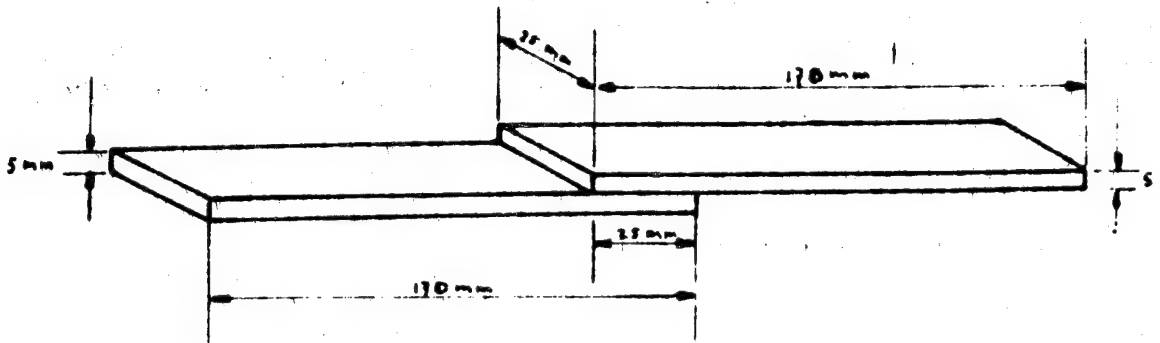
Laminate no.	Time interval
A	2 days at 22°C
B	4 days at 22°C
C	7 days at 22°C
D	14 days at 22°C
E	1 day at 22°C + 8 hours at 60°C
F	after 2 hours at 22°C

After completion of the second part, each laminate was cured at 22°C during 24 hours and submitted to an after-cure in an oven at 40°C during 24 hours directly afterwards.

The completed laminates were cut into 6 test pieces of the following dimensions:

1979-12-12

Fig. 3



### 3.3. Mechanical investigation and test results.

The determination of the shear-strength of the 8 laminates was carried out by means of an Instron Dynamometer.

Speed of testing : 0,5 cm/min  
Length between grips : approximately 20 cm  
Overlap of the test piece : 25 mm  
Width of the test piece : 25 mm

Auxiliary pieces were placed between the grips and the test piece to prevent too much bending.  
The results are listed in table 2.

1979-12-12

TABLE 2

Shear strength  $\text{MN/m}^2$ 

Laminate	A	B	C	D	E	F
Time interval in days	2	4	7	14	1 day + 8 hours 60°C	0
Type of resin	3951	3951	3951	3951	3951	3951
Shear strength average $\text{MN/m}^2$	6,90	7,10	6,75	7,06	6,96	6,93
Standard deviation	0,30	0,30	0,25	0,23	0,13	0,16

3.4. Styrene emission

The measuring of the styrene emission was carried out on laminates containing 5 layers of CSM layed down wet in wet. The dimensions of the laminates were 30 x 30 cm.

(Larger laminates - 50 x 50 cm - proved to be very impractical because when a plate of this dimensions was placed on a balance, the fluctuations in the readings, caused by the natural draft in the fume cupboard, were too great.)

Directly after completion of laminating the laminates were placed on a digital balance and the weight loss was read every minute for the first 10 minutes and after that every 5 minutes. The reading was continued during 100 minutes.

Report nr. 469/'79

1979-12-12

The weight loss of styrene was:

Laminate with Synolite 528 - 59 - 3951 : 0,68 weight %

Laminate with standard type UP-resin : 1,92 weight %

converted to a surface area of 1 m<sup>2</sup> the results are:

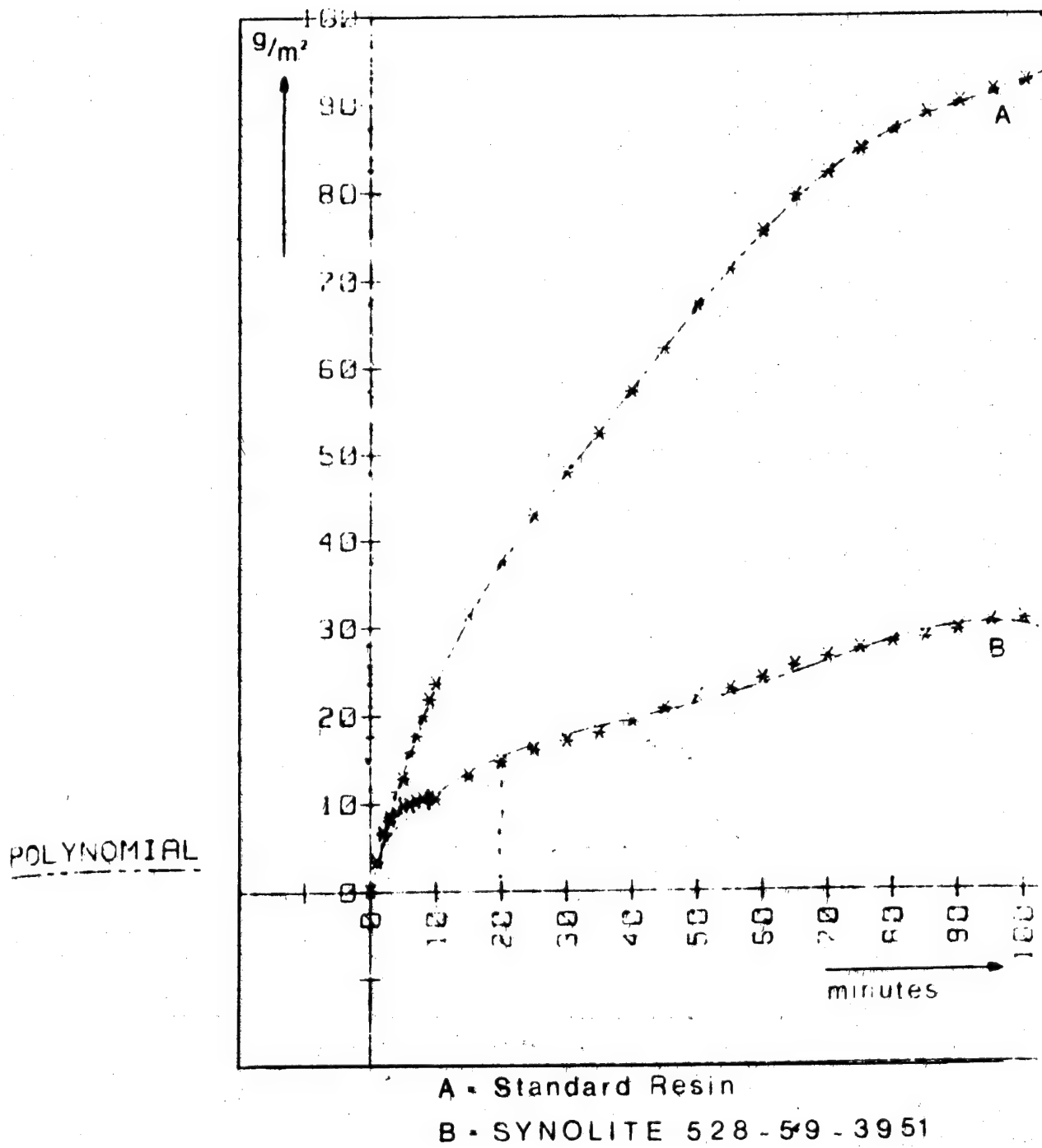
for type 3951 (with filmformer) : 31 gr/m<sup>2</sup>

for standard type (no filmformer) : 92 gr/m<sup>2</sup>

The results are expressed in figures 4 and 5.

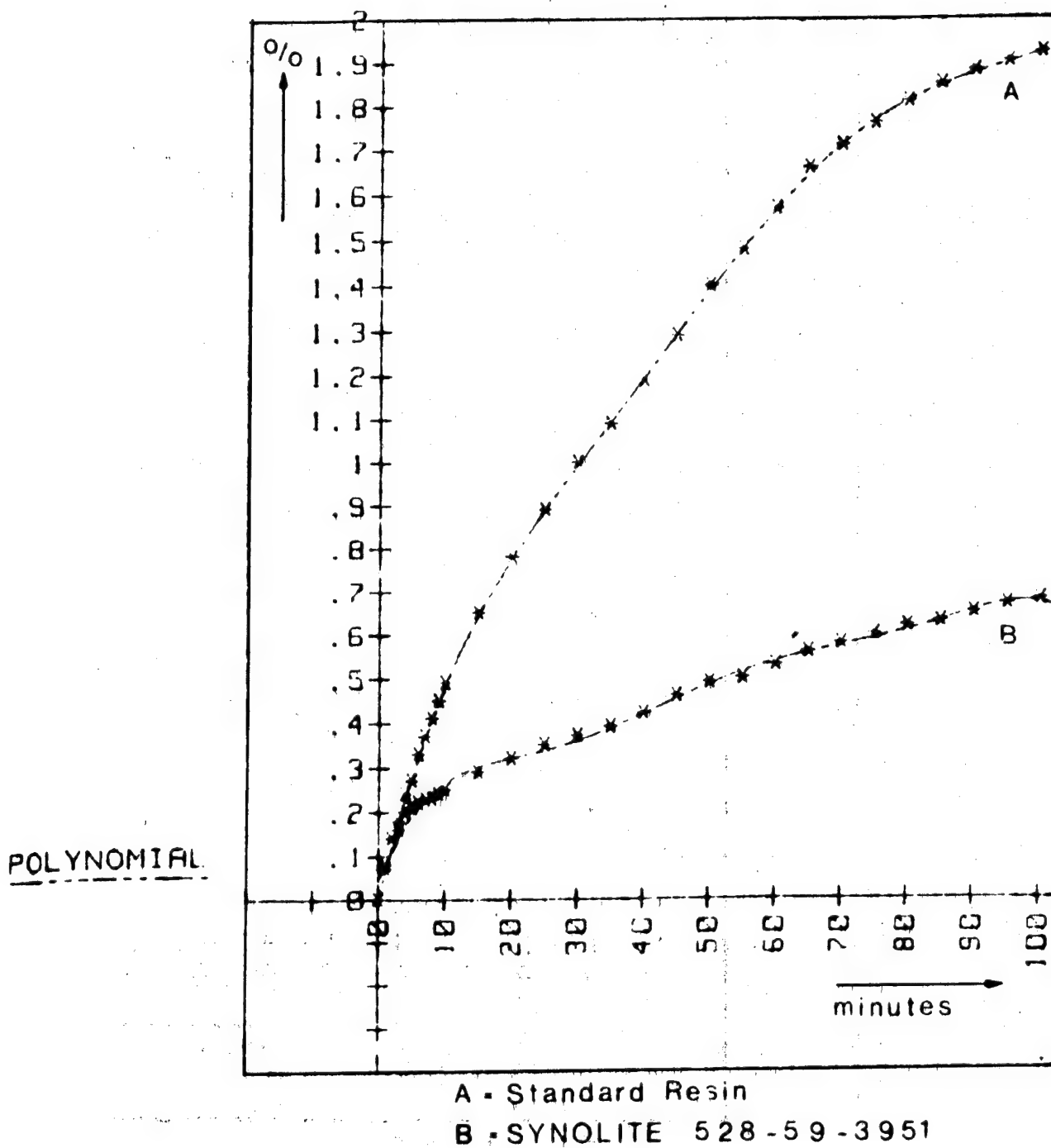
1979-12-12

Fig. 4 Styrene Emission (grammes/m<sup>2</sup>)  
of GRP Laminates at 22°C



1979-12-12

Styrene Emission (% by weight)  
Fig. 5 of GRP-Laminates at 22°C





1979-12-12

#### 4. DISCUSSION

Table 2 shows that when the second part of a laminate, made with Synolite 528 - 59 - 3951, is laid directly after gelation or after intervals of 2, 4, 7 or 14 days at 22°C the observed differences in shear-strength are very small. Even when the first part of the laminate is given an aftercure of 8 hours at 60°C, the shear-strength is the same as is the average shear-strength of the laminates cured at RT.

This leads to the conclusion that no significant differences of the adhesion between successive layers could be found even when the time intervals between the application of a new layer was 7 or 14 days or the first layer was given an aftercure of 8 hours at 60°C.

Visual inspection of the test pieces after testing confirm this, because shearing mainly took place in one of the facing chopped strand mat layers and not on the tangent planes of the overlapping layers, so that in all cases the filmformer did not act as a release agent.

The positive influence of the filmforming-additive in Synolite 528 - 59 - 3951 on the evaporation of styrene-monomer is clearly shown when compared with a standard UP-resin without a filmformer. Comparison of two laminates showed that the evaporation of styrene was lowered with a factor : 3.

British Standard Methods of testing

## Plastics

Part 3. Mechanical properties

# Method 341A. Determination of apparent interlaminar shear strength of reinforced plastics

Méthodes d'essai des matières plastiques

Partie 3. Caractéristiques mécaniques

Méthode 341A. Détermination de la résistance au cisaillement interstrate apparente des matières plastiques renforcées

Prüfverfahren für Kunststoffe

Teil 3. Mechanische Eigenschaften

Verfahren 341A. Bestimmung der scheinbaren zwischenlaminaren Scherfestigkeit bewehrter Kunststoffe

**IMPORTANT NOTE.** Before reading this method it is essential to read the foreword, general introduction and instructions to BS 2782, issued separately.

## 0. Introduction

This method is a modification of the three point loading cross-breaking test described in methods 304A to 304E of BS 2782 : 1970 which are to be revised. The method is intended to determine the interlaminar shear strength of the material.

## 1. Scope

This method describes a procedure for determining the apparent interlaminar shear strength of the following rigid composite materials.

- Composites containing a unidirectional fibrous reinforcement (including pre-pregs).
- Fibre reinforced laminates, the component layers being in the form of a mat, cloth or woven roving.

## 2. References

The following standards publications are referred to in this method.

- |         |  |
|---------|--|
| BS 2782 | Methods of testing plastics<br>Foreword, general introduction and<br>instructions : 1975           |
| BS 5214 | Testing machines for rubbers and plastics<br>Part 1. Tensile, flexural and compression<br>machines |

## 3. Principle

The test is similar, in nature, to the three point loading method used to determine the cross-breaking strength of rigid materials (BS 2782 : 1970 : methods 304A to 304E inclusive). However, a shorter span/depth ratio is adopted to increase the level of shear stress relative to the flexural stress in the test pieces.

It is emphasized that the result obtained is not an absolute figure. For this reason the term 'apparent interlaminar shear strength' is used to define the quantity measured. Test results from different sized specimens, or from specimens tested under different conditions, are not directly comparable.

## 4. Apparatus

**4.1 Testing machine.** The compression testing machine shall be power driven and capable of maintaining the appropriate rate of movement as required in clause 8, and in all cases, a continuous indication of the force applied to the test piece, preferably recorded autographically with a permanent indication of the maximum force, shall be provided. The force scale shall be calibrated by a suitable method to ensure that the error does not exceed the requirements for grade A of BS 5214 : Part 1 : 1975.

**4.2 Loading member and parallel supports.** The loading member shall have a radius of 3 mm and width not less than 12.7 mm. The parallel supports shall have contact edges of 3 mm radius and length not less than 12.7 mm (see figure 1).

## 5. Test piece

The properties of many composite sheet materials vary according to the geometry of the reinforcing fibres and it may be necessary to take this feature into account when choosing the direction of test. For materials containing a unidirectional reinforcement it is customary to test only in a direction parallel to the axis of the fibres, but for materials reinforced with a mat, cloth or woven roving, it is usual to cut two groups of test pieces with their major axes respectively parallel and perpendicular to the direction of some feature of the sheet which is either visible or inferred from a knowledge of the method of its manufacture.

For a particular test the direction of testing is the direction of the long axis of the test piece.

Use test pieces in the form of rectangular bars of uniform thickness and of the following dimensions.

	Thickness (mm)		Overall length	Width (mm)
	min.	max.		
Materials with unidirectional reinforcement	2	3*	Six times the mean thickness	10 ± 2
Fibrous reinforced laminates (mat, cloth or woven roving)	2	5	Six times the mean thickness	10 ± 2

The thickness of the test piece for fibrous reinforced laminates shall be the thickness of the material under test. Where this exceeds 5 mm it is permissible, where specified in the material specification, to reduce the thickness to 5 mm by machining the face of the test piece which will be subjected to longitudinal compression.

The thickness at any point along the length shall be within ± 2 % of the mean thickness for moulded test pieces and ± 5 % of the mean thickness for test pieces fabricated by any other technique.

At least 5 test pieces shall be tested in each of the required directions of testing.

## 6. Preparation of test pieces

Machine the test pieces from a moulded blank or sheet. If laminated test pieces have to be reduced in thickness, accomplish this by machining the face of the test piece that will be subjected to longitudinal compression.

The speed of the machining depends on the material being tested and wherever possible the speeds should be based on the details given in the appropriate British Standard covering the material or on the recommendations put forward by the manufacturer. Ensure that the test pieces are not overheated during machining, and, if a coolant is used, that it does not have a deleterious effect on the test piece. Ensure that all surfaces (including the ends) of a test piece are free from visible flaws, scratches or imperfections. Marks left by machining operations or, in the case of coarse laminates, loose fibre ends, may be smoothed with fine abrasants used in place of the cutting tool. **In all machining operations, precautions shall be taken against inhalation of dust and the incidence of skin irritation.**

## 7. Conditioning

Condition the test pieces after any required annealing or normalizing treatment. Unless a separate conditioning clause is referred to in the material standard, the conditioning procedure A specified in BS 2782 : Foreword, introduction and general instructions : 1975 should be adopted. However, where it is known that the materials are not sensitive to changes in humidity, procedure B may be used. Except when testing at elevated or low temperatures, maintain the test temperature and humidity within the specified limits used for conditioning.

## 8. Procedure

Measure the width and thickness of the test piece to the nearest 0.02 mm. Place it symmetrically across the two parallel supports with an unmachined surface in contact with the supports. (See figure 1.) Set the distance between the centres of the supports at five times the measured thickness of the test piece (± 5 %). Apply a force uniformly across the width of the test piece by means of the loading member, parallel with and midway between the supports. Increase the force steadily from zero by relative movement of the loading member and supports; the rate of movement shall be 1 mm/min (± 50 %). Record the maximum force (*F*) sustained by the test piece. Normally the test pieces will fail in one of the shear modes shown in figure 2. Test pieces that fail in some other manner such as that shown in figure 2(f) shall not be deemed to have failed in shear and the report shall be suitably annotated.

## 9. Calculation and expression of results

9.1 Calculate the apparent interlaminar shear strength of the test piece using the following equation:

$$S = \frac{0.75 F}{b d}$$

where

- S* is the apparent interlaminar shear strength (in MPa);
- F* is the force at fracture (in N);
- b* is the width of test piece (in mm);
- d* is the thickness of test piece (in mm).

9.2 Report the apparent interlaminar shear strength of the material under test as the arithmetic mean of the apparent interlaminar shear strengths of each set of five test pieces. In cases where tests have been carried out on the material in different directions, calculate and report a result for each direction.

## 10. Test report

The test report shall include the following particulars.

- (a) A complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, type and percentage content of reinforcement and previous history.
- (b) A reference to this British Standard method (i.e. BS 2782 : Method 341A : 1977).
- (c) The conditioning and test atmosphere used.
- (d) The dimensions of the test piece and method of preparation.

\*When testing unidirectional composites, the thickness is limited to a maximum of 3 mm to minimize compressive damage.

- (e) The number of test pieces tested in each direction.
- (f) If necessary, the relation of the direction of testing to some feature of the sheet.
- (g) The apparent interlaminar shear strength of the material for each direction of testing.
- (h) The individual test results.
- (i) The mode of failure.

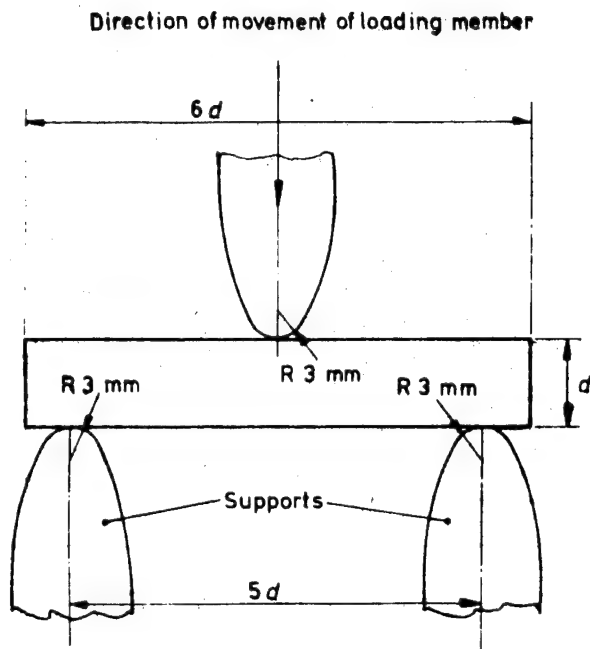


Figure 1. Method of loading

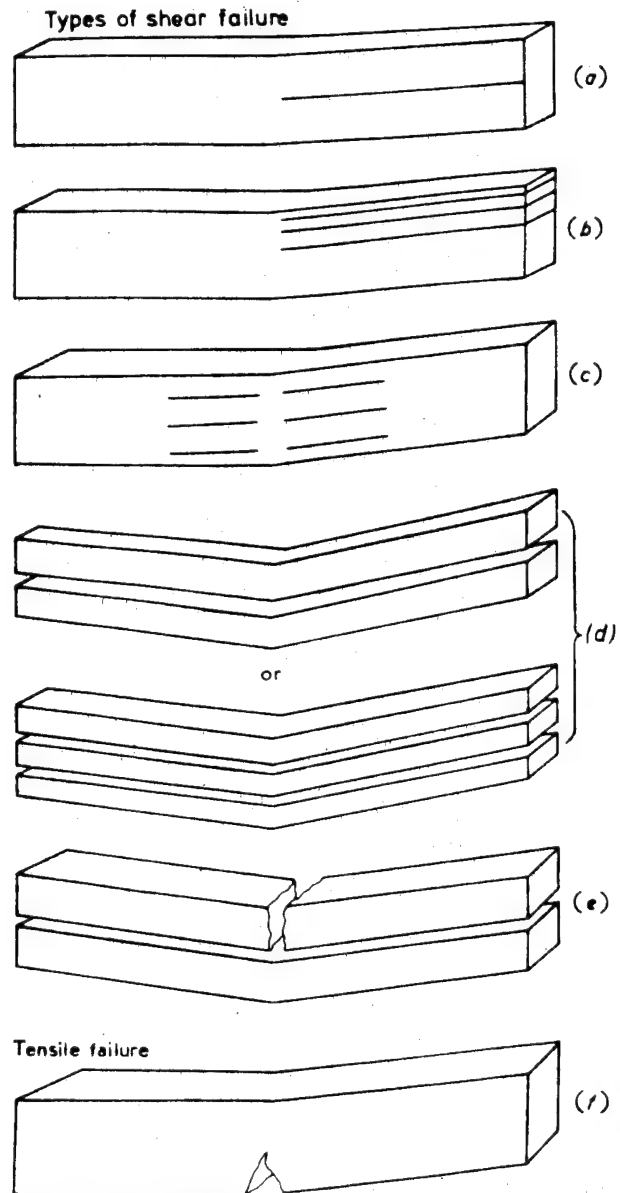
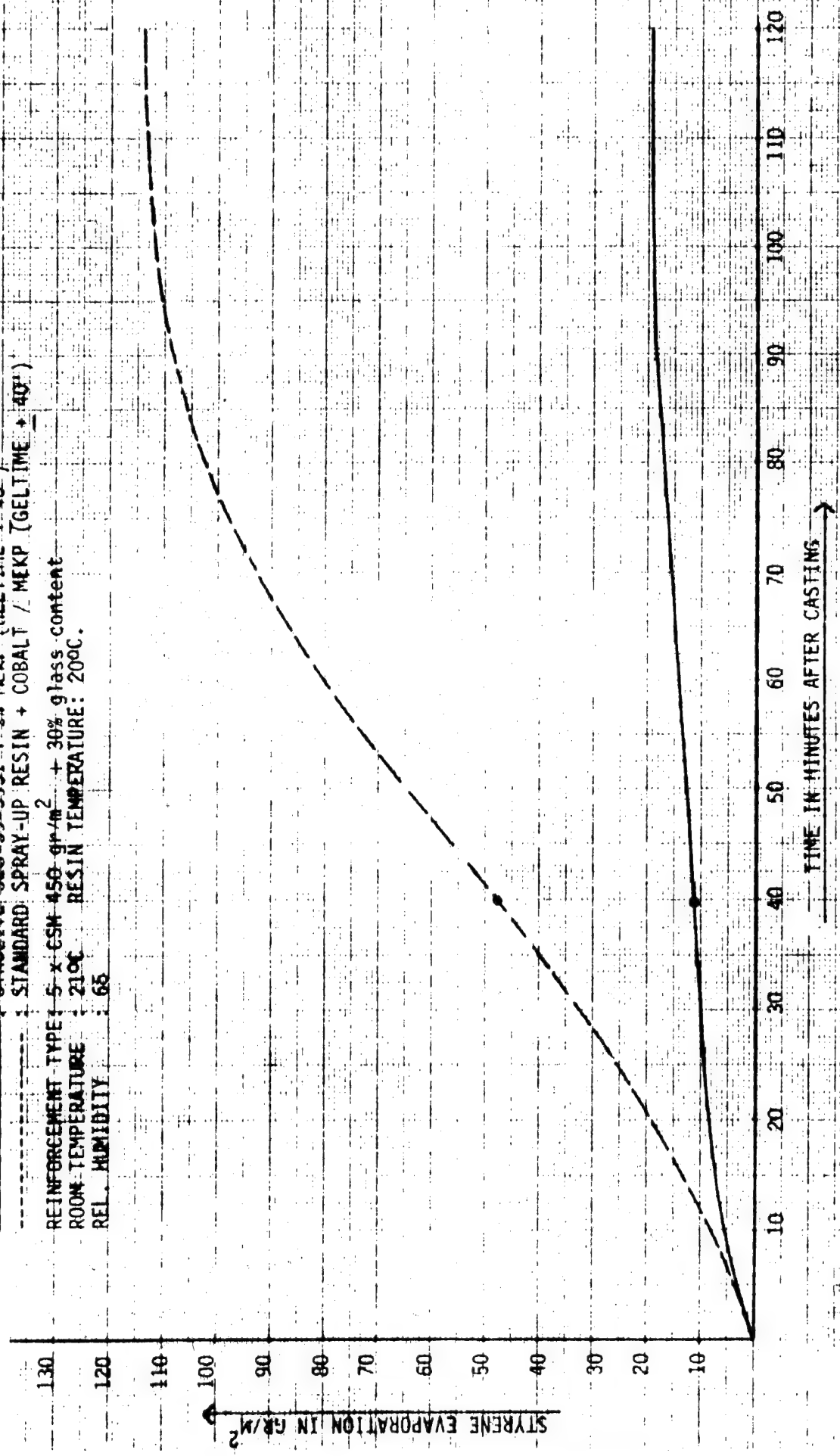


Figure 2. Types of failure

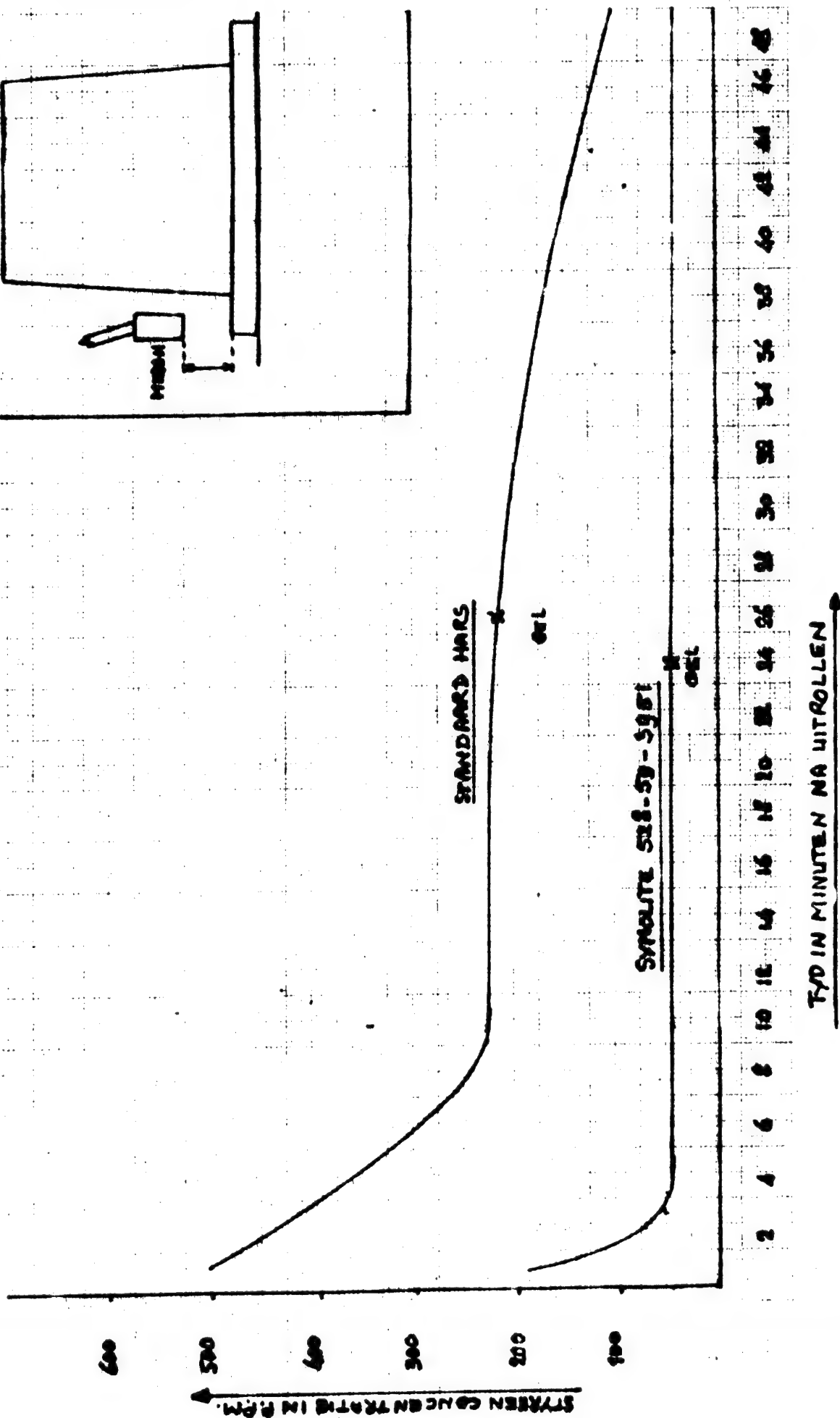
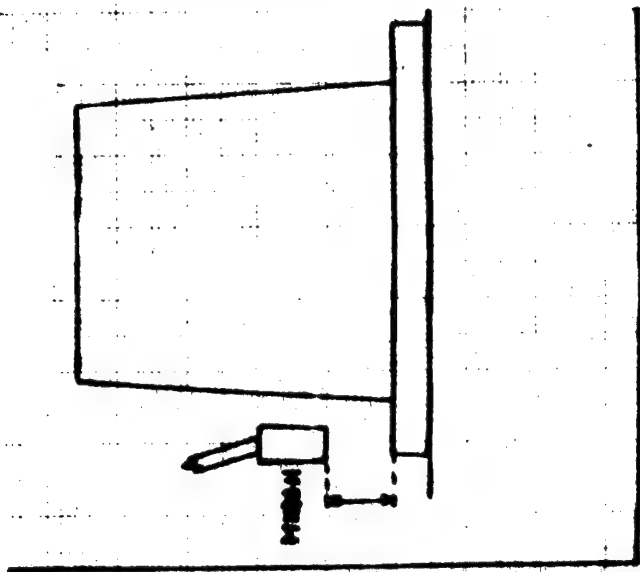
STYRENE EVAPORATION OF A 5 MM THICK LAMINATE

SYNOLITE 528-59-3951 + 1% MEKP (GELTIME + 40')  
STANDARD SPRAY-UP RESIN + COBALT / MEKP (GELTIME + 40')

REINFORCEMENT TYPE: 5 x 65M 450 gm/m<sup>2</sup> + 30% glass content  
ROOM TEMPERATURE: 21°C RESIN TEMPERATURE: 20°C  
REL. HUMIDITY: 65



DYLA GE 4.



⑦

SYNOLITE 528-59-3951

Principal properties

SYNOLITE 528-59-3951 is a preaccelerated thixotropic orthophthalic acid based resin with Low Styrene Emission properties.

This resin combines a good cure speed with a low exothermic peak in thick laminates made in one go.

Applications

SYNOLITE 528-59-3951 is recommended for hand-lay-up and spray-up applications where L.S.E. is required.

Physical properties of the liquid resin

Viscosity (25°C), mPa.s	180-230
Solid content, %	59
Acid value, mg KOH/g	21-25
Appearance	hazy, grey
Density(20°C), kg/m <sup>3</sup>	1100
Stability, uncatalysed in darkness, 25°C, months	6

Typical curing characteristics

Gel Test with 100 g resin+1% MEKP 50%,  
at 20°C in insulated beaker

Gel time	40'-45'
Peak time	65'-75'
Peak exotherm, °C	85

Typical physical properties of cast unfilled resin

Density (20°C)	1175
Volume shrinkage, %	6,5
Barcol hardness GYZJ 934-1	42
Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>	65
Flexural strength, N/mm <sup>2</sup>	95
Modulus of elasticity in tension, N/mm <sup>2</sup>	3400
Elongation at break, %	2,4
Heat distortion temperature, ASTM D 648-56, °C	69

Typical physical properties of glass mat laminates (Glass content about 30%)

Tensile strength, $\text{N/mm}^2$	115
Flexural strength, $\text{N/mm}^2$	180
Modulus of elasticity in tension, $\text{N/mm}^2$	9500

Notes

- Approved by Lloyds' Register of Shipping.
- On a SYNOLITE 528-59-3951 based laminate, the laminating can be continued within 7 days (curing with 1% MEKP at  $+20^{\circ}\text{C}$ ), without affecting the interlaminar adhesion, as described in TNO report No 496/79.

Storage conditions

- Storage tanks should be provided with a mixing device.  
Resin should be homogenized at least every 24 hours.
- Drum quantities should be conditioned at  $18^{\circ}\text{C}$  Minimum, and stirred prior to use. Homogenizing should be repeated at least every 24 hours.

Although the facts and suggestions in this leaflet are based on our own research and are believed reliable, we cannot assume any responsibility for performance or results obtained through the use of our product herein described.





# Lloyd's Register of Shipping

71 Fenchurch Street, London, EC3M 4BS

## CERTIFICATE OF APPROVAL OF POLYESTER RESIN

**THIS IS TO CERTIFY** that the polyester resin described below has been examined in accordance with the requirements of Lloyd's Register of Shipping and is approved for use in the construction of reinforced plastics craft moulded under the Society's Survey.

Name of Firm	Synres International B.V. The Netherlands
Trade Name of Resin	Synolite 528-62-0000
Type of Resin	Laminating
Characteristics	Orthophthalic Resin
Remarks	Base Resin for Formulation of Variants
Approved Variants	Synolite 528-59-3951 (Pre-accelerated, thixotropic, sprayable, low styrene emission). Synolite 528-59-1085 (Thixotropic, sprayable, low styrene emission).

This approval is valid until 1st December, 1984.

Date 21st November, 1979.

  
for Secretary, Lloyd's Register of Shipping

"In providing services information or advice neither the Society nor any of its servants or agents warrants the accuracy of any information or advice supplied. Except as set out herein neither the Society nor any of its servants or agents (on behalf of each of whom the Society has agreed this clause) shall be liable for any loss damage or expense whatever sustained by any person due to any act or omission or error of whatsoever nature and howsoever caused of the Society its servants or agents or due to any inaccuracy of whatsoever nature and howsoever caused in any information or advice given in any way whatsoever by or on behalf of the Society, even if held to amount to a breach of warranty. Nevertheless, if any person uses the Society's services or relies on any information or advice given by or on behalf of the Society and suffers loss damage or expense thereby which is proved to have been due to any negligent act omission or error of the Society its servants or agents or any negligent inaccuracy in information or advice given by or on behalf of the Society then the Society will pay compensation to such person for his proved loss up to but not exceeding the amount of the fee (if any) charged by the Society for that particular service information or advice, or that part thereof which caused the loss."



kunststoffen en rubber instituut **TNO**

plastics and rubber research institute

Report number 114/'79

**PROPERTIES OF "SYNOLITE 528. 62. 0000"  
AS A CAST RESIN AND A GRP LAMINATE**

Instituut van de Nijverheidsorganisatie TNO  
Schoemakerstraat 97  
Postbus 71, Delft, Holland  
Telefoon (015) 56 93 30  
Telex 31453 zptno nl

Date : April 6th, 1979.

Carried out for : Synres Nederland B.V., Slachthuisweg 30  
3151 XN Hoek van Holland, The Netherlands.

Carried out by : Department for Mechanico-Physical Investigation,  
Ing. H. A. Geerars.

Order number : 200 267 902 / 108

File number : MO6837

Contents :

- 1. INTRODUCTION
- 2. INVESTIGATION
  - 2.1. Cast resin
    - 2.1.1. Temperature of deflection under load
    - 2.1.2. Indentation hardness by means of a Barcol Impressor
    - 2.1.3. Absorption of water
    - 2.1.4. Tension test
  - 2.2. Laminate, reinforced with chopped strand glassfibre
    - 2.2.1. Absorption of water
    - 2.2.2. Tension test, dry and wet
    - 2.2.3. Flexure test, dry and wet
- 3. SUMMARY

## 1. INTRODUCTION

This report describes the testing and the results of testing of Synolite 528.62.0000. The investigation was carried out by the Plastics and Rubber Research Institute TNO, Delft, at the request of Synres Nederland B.V., Hoek van Holland, The Netherlands (see order number 94216 of March 6th, 1979). The samples received for testing were prepared by Synres Nederland B.V. on February 20th, 1979, cured at room temperature for seven days ( $1\frac{1}{2}$  % MEKP (50 %) + 0.75 % Co (1 %)) and postcured during 16 hours at 40°C. The tests were carried out on a cast resin and a chopped strand glassfibre reinforced laminate (33 % Silenka CHT 450 g/m<sup>2</sup>). The tests carried out were: water absorption, temperature of deflection under load, Barcol hardness, tension and flexure. The mechanical tests were executed on March 22nd, 1979.

## 2. INVESTIGATION

### 2.1. CAST RESIN

#### 2.1.1. Temperature of deflection under load.

The determination of temperature of deflection under load was carried out in accordance with ISO standard 75, method A. The width of the specimen was 12.4 mm, the thickness 3.9. Two specimens were tested.

The temperature of deflection under a fibre stress of 1.8 N/mm<sup>2</sup> was of specimen number 1: 72°C and of specimen number 2: 73°C. The average is 73°C.

#### 2.1.2. Indentation hardness by means of a Barcol Impressor.

The hardness test was carried out under ASTM D 2583 with a Barcol Impressor 934-1, type GY 2j. The test specimens were conditioned at 23°C and 50 % relative humidity; the test took place in ten-fold. The average hardness value was 42.7 (standard deviation 0.8).

#### 2.1.3. Absorption of water.

The water absorption was determined under ISO Recommendation R 62-1958 and amendment A 1-1965, but with a 7 days' immersion instead of a 24 hours'.

specimen	thickness	weight after drying W <sub>1</sub> (mg)	weight after a 7 days' immersion W <sub>2</sub> (mg)	water absorption W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> (mg)
1	4.11	11939	11981	42
2	4.09	11799	11843	44
3	4.10	11903	11948	45
water absorption, 7 days' value				44

#### 2.1.4. Tension test.

The tension test was carried out under ISO Recommendation R 527, test specimens ASTM D 638, type I, thickness 3.9 mm, width of the parallel portion 12.5 mm. The specimens were received from Synres. Temperature during testing was 23°C and the relative humidity 50 %. The test took place in five-fold, speed of testing was 1 mm/minute. The elongation was measured with an extensometer.

The average tensile stress at break is 69 MN/m<sup>2</sup> (standard deviation 4).

The average tensile modulus is 3400 MN/m<sup>2</sup> (standard deviation 300).

The average percentage of elongation at break is 2.9 (standard deviation 0.5).

### 2.2. LAMINATE (REINFORCED WITH CHOPPED STRAND GLASSFIBRES)

#### 2.2.1. Absorption of water.

The water absorption was determined under ISO Recommendation R 62-1958 and amendment A 1-1965, but with a 7 days' immersion instead of a 24 hours'.

specimen	thickness	weight after drying W <sub>1</sub> (mg)	weight after a 7 days' immersion W <sub>2</sub> (mg)	water absorption W <sub>2</sub> - W <sub>1</sub> (mg)
1	4.08	14599	14634	35
2	4.12	14584	14618	34
3	3.99	13737	13772	35
water absorption, 7 days' value				35

#### 2.2.2. Tension test, dry and wet.

The tension test was carried out under ISO Recommendation R 527, test specimens ASTM D 638, type I, thickness 4.0 mm, width of the parallel portion 12.7 mm. The specimens were received from Synres. Temperature during testing was 23°C and the relative humidity 50 %. The test took place in five-fold, speed of testing was 1 mm/minute. The elongation for determination of the modulus was measured with an extensometer.

The "dry" tension test was carried out in five-fold.

Also the "wet" tension test was carried out in five-fold. For the wet test the specimens were immersed in boiling water for two hours, after which they were cooled off to room temperature in water of room temperature for 30 minutes, dried with a cloth and tested within one hour.

	dry value	wet value	percentage of retention
average tensile strength (MN/m <sup>2</sup> ) standard deviation	113 6	129 7	114
average tensile modulus (MN/m <sup>2</sup> ) standard deviation	10300 1200	8700 1100	84

### 2.2.3. Flexure test, dry and wet.

The flexure test was carried out under ISO standard 178. Specimen thickness 4.0 mm and width 12.6 mm. The specimens were received from Synres. The used length of span was 64 mm, the speed of testing 2 mm/minute. Temperature during testing was 23°C and the relative humidity 50 %. The same number of test pieces and the same procedure for the determination of the dry and wet values as described under 2.2.2. are used.

	dry value	wet value	percentage of retention
average flexural strength (MN/m <sup>2</sup> ) standard deviation	177 10	188 11	106
average flexural modulus (MN/m <sup>2</sup> ) standard deviation	6710 310	5760 270	86

## 3. SUMMARY

test	test method	test results	
		average	standard deviation
<u>Cast resin :</u>			
temperature of deflection under load	ISO 75, method A, 1.8 MN/m <sup>2</sup>	73 °C	
Barcol hardness value	ASTM D 2583	42.7	0.8
absorption of water	ISO R 62 (7 days' value)	44 mg	
tensile strength	ISO R 527	69 MN/m <sup>2</sup>	4 MN/m <sup>2</sup>
tensile modulus	ISO R 527	3400 MN/m <sup>2</sup>	300 MN/m <sup>2</sup>
elongation at break	ISO R 527	2.9 %	0.5 %
<u>Glassfibre reinforced laminate :</u>			
absorption of water	ISO R 62 (7 days' value)	35 mg	
tensile strength, dry value	ISO R 527	113 MN/m <sup>2</sup>	6 MN/m <sup>2</sup>
tensile strength, wet value	ISO R 527	129 MN/m <sup>2</sup>	7 MN/m <sup>2</sup>
retention		114 %	
tensile modulus, dry value	ISO R 527	10300 MN/m <sup>2</sup>	1200 MN/m <sup>2</sup>
tensile modulus, wet value	ISO R 527	8700 MN/m <sup>2</sup>	1100 MN/m <sup>2</sup>
retention		84 %	
flexural strength, dry value	ISO 178	177 MN/m <sup>2</sup>	10 MN/m <sup>2</sup>
flexural strength, wet value	ISO 178	188 MN/m <sup>2</sup>	11 MN/m <sup>2</sup>
retention		106 %	
flexural modulus, dry value	ISO 178	6710 MN/m <sup>2</sup>	310 MN/m <sup>2</sup>
flexural modulus, wet value	ISO 178	5760 MN/m <sup>2</sup>	270 MN/m <sup>2</sup>
retention		86 %	

## Provisional data sheet

### SYNOLITE QX - 20

Synolite QX - 20 is a composed accelerator for the cure of unsaturated polyester resin in combination with MEK.P<sup>1)</sup>, CH.P<sup>2)</sup>, or A.A.P.<sup>3)</sup>, at room temperature. Mainly to be used for the cure of Synolite 528 - 59 - 1085, a low styrene emission resin.

- 1) Methyl ethyl ketone peroxide
- 2) Cyclohexanone peroxide
- 3) Acetyl acetone peroxide

### Principal properties

It provides a quicker cure than cobalt accelerators and lower peak exotherm. Not applicable for products which should withstand U.V. radiation.

### Directions for storage and handling

- 1) Keep the accelerator separated from peroxides during storage and do never mix them directly together
- 2) Store in a cool, dry place (max. 25° C); do not expose to direct sunlight
- 3) Contact with naked fire and other sources of heat should be avoided
- 4) Keep packaging closed during storage
- 5) Rough handling to be avoided
- 6) Spillage has to be removed from the floor. It can be absorbed in mica flour or tuff powder (Vermiculite, Perlite)
- 7) A good ventilation during handling is strongly advised
- 8) Use safety goggles, rubber gloves, etc. in order to avoid direct contact with skin

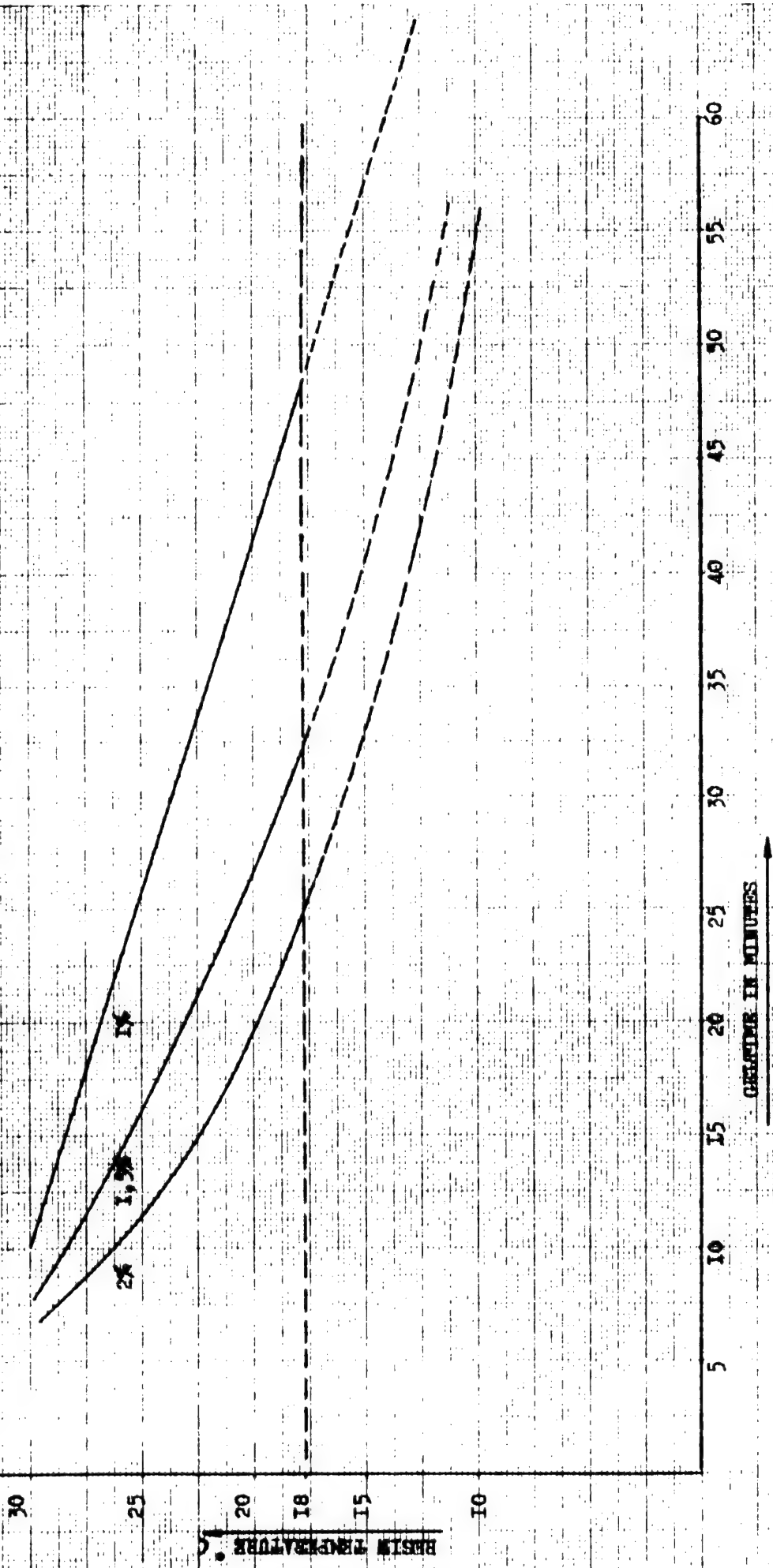
### Physiological properties

As QX - 20 contains a tertiary amine, it is moderately to slightly toxic upon ingestion, it can penetrate the skin and may cause damage to the eyes.

Note : Although the facts and suggestions in this leaflet are based on our own research and are believed reliable, we cannot assume any responsibility for performance or results obtained through the use of our product herein described.

Synellite 520-59-1951

Cooltime at different temperatures with 1:1:1.5:2% molyp(50%)



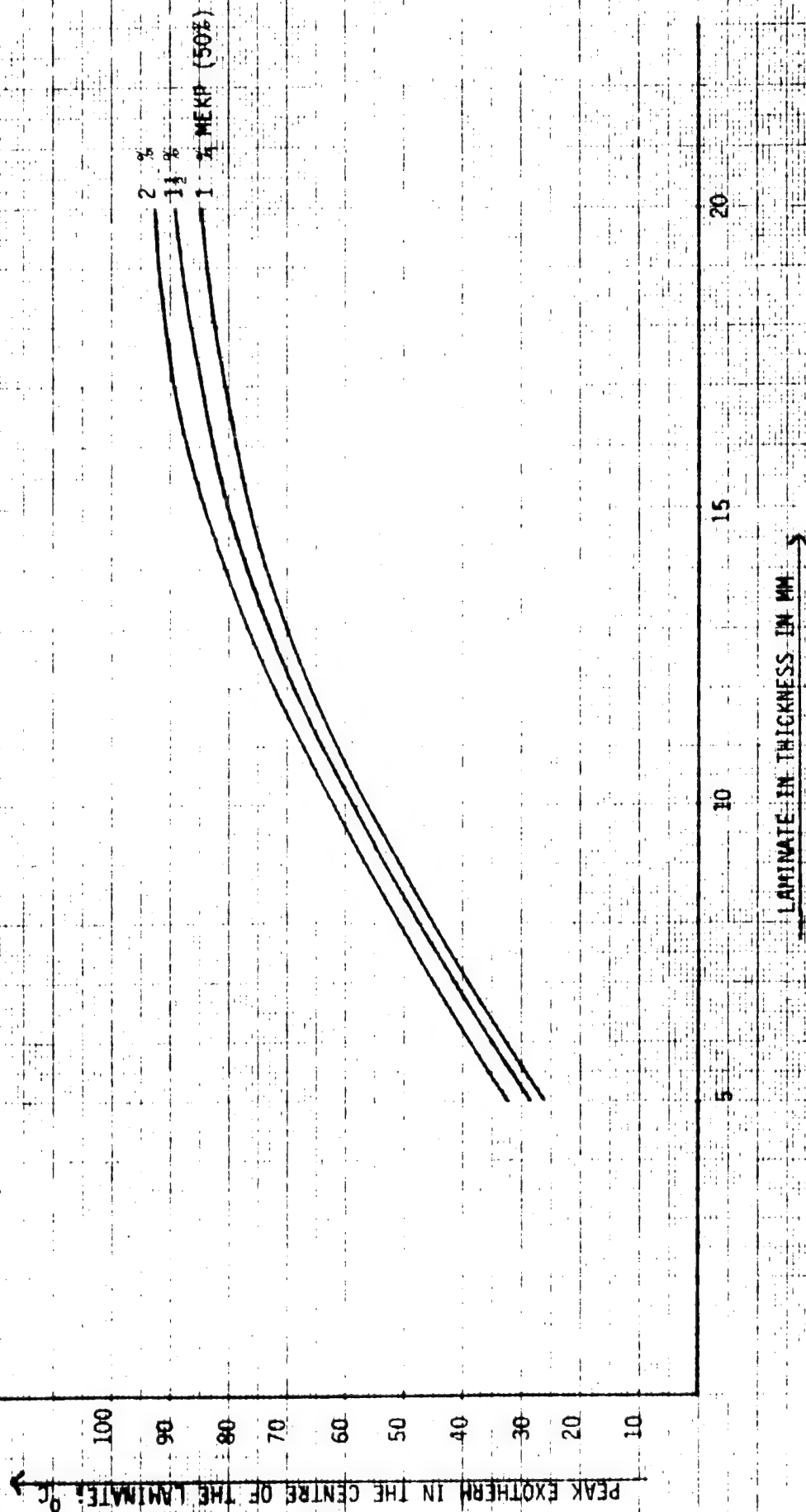


SYNOPSIS 528-59-3951

PEAK EXOTHERM IN LAMINATES MADE IN ONE GO

RESIN TEMPERATURE : 20°C.

WORK SHOP TEMPERATURE: 20°C.



SYNOLITE 328-52-3951

INCREASE OF BARCOL HARDNESS GYZJ 934-1 AGAINST THE TIME

CATALYST : 1% MEKP 50%  
RESIN TEMPERATURE : 20°C  
WORK SHOP TEMPERATURE : 20°C  
GLASS CONTENT LAMINATE: 30% BY WEIGHT

15 MM LAMINATE THICKNESS

10 MM

5 MM

2 MM

BARCOL HARDNESS GYZJ 934-1

1

2

3

4

5

6

7

8

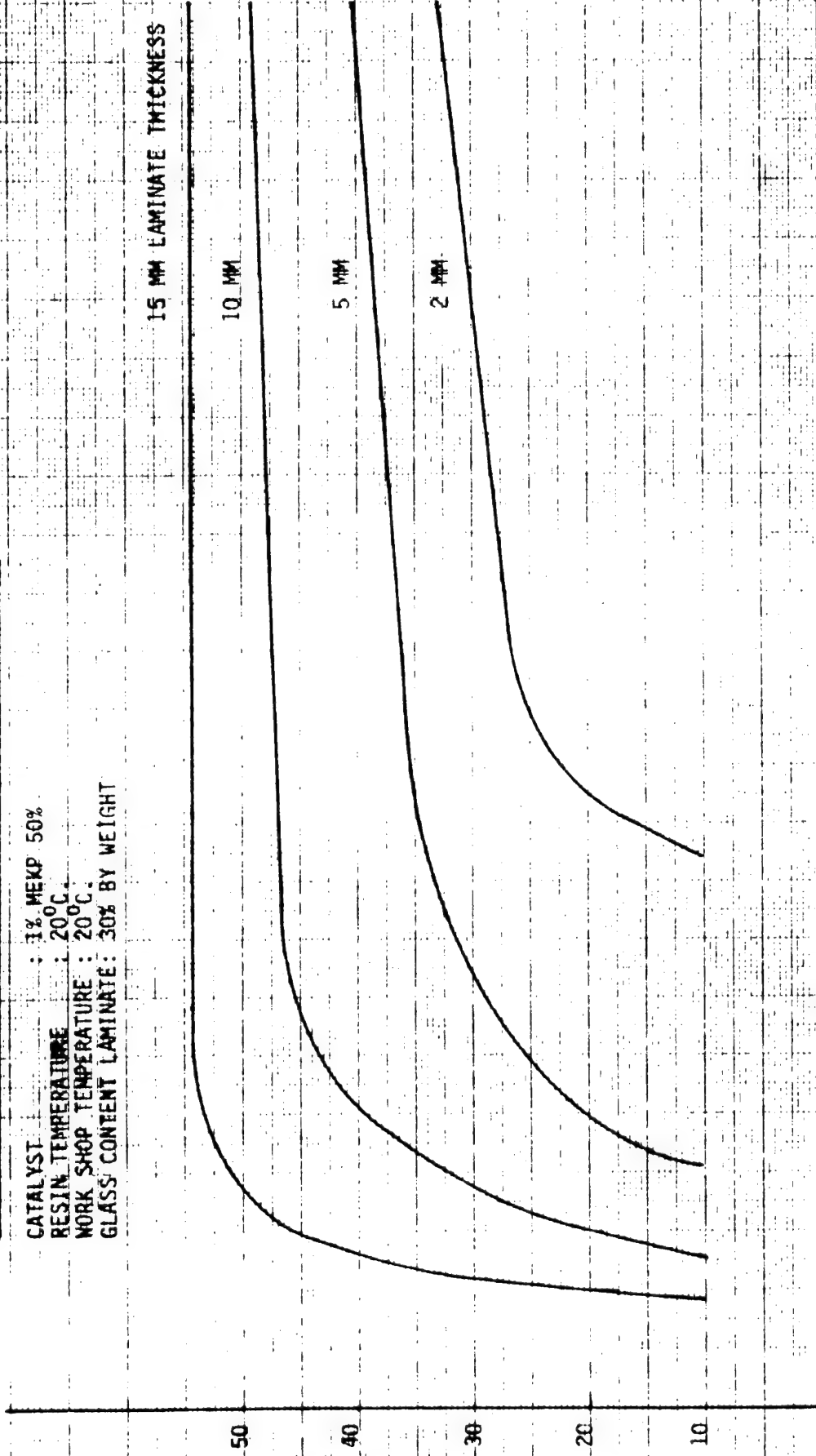
9

10

11

12

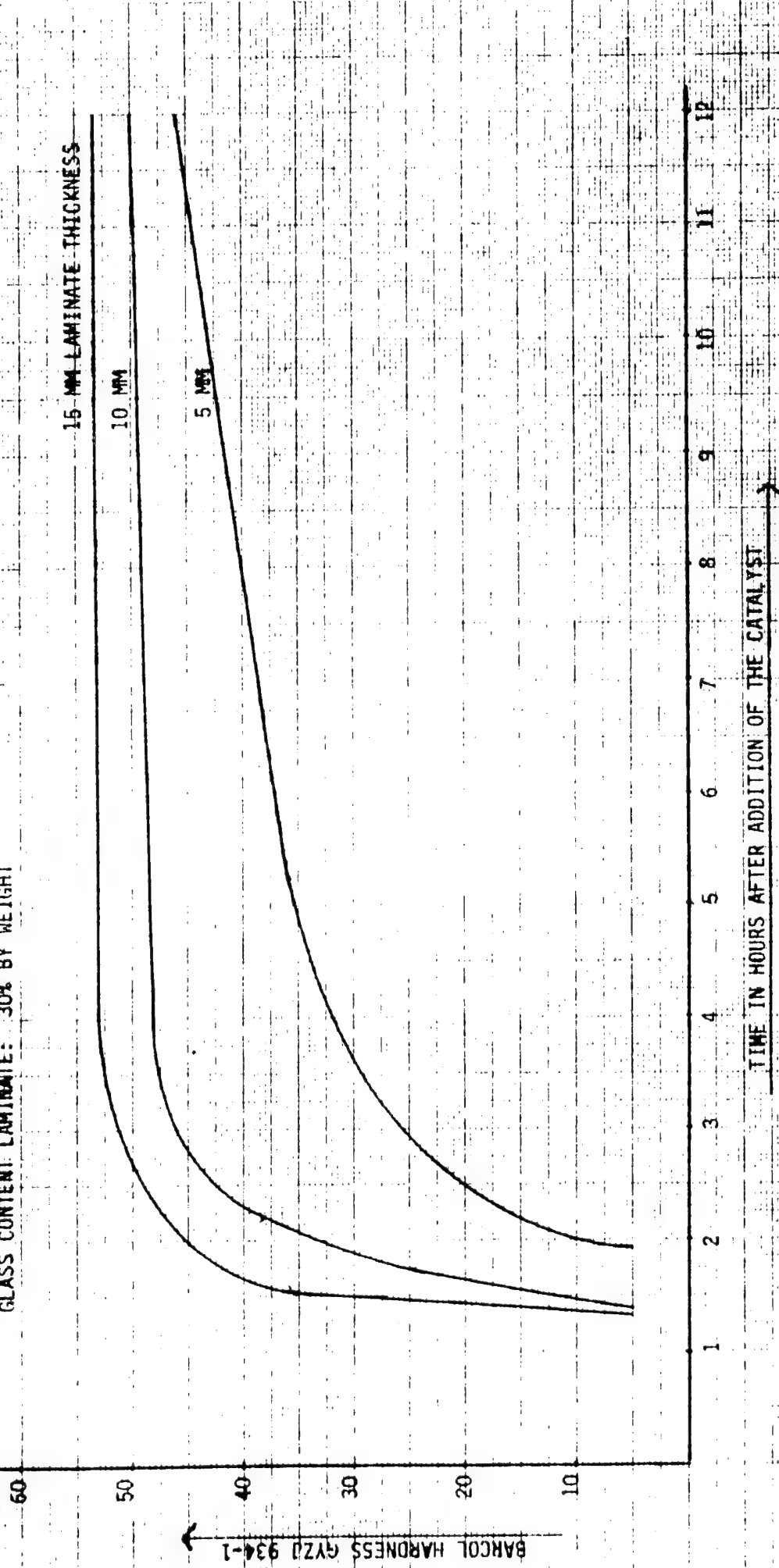
TIME IN HOURS AFTER ADDITION OF THE CATALYST



SYNOLITE 528-59-3951

INCREASE OF BARCOL HARDNESS GYZJ 934-1 AGAINST THE TIME

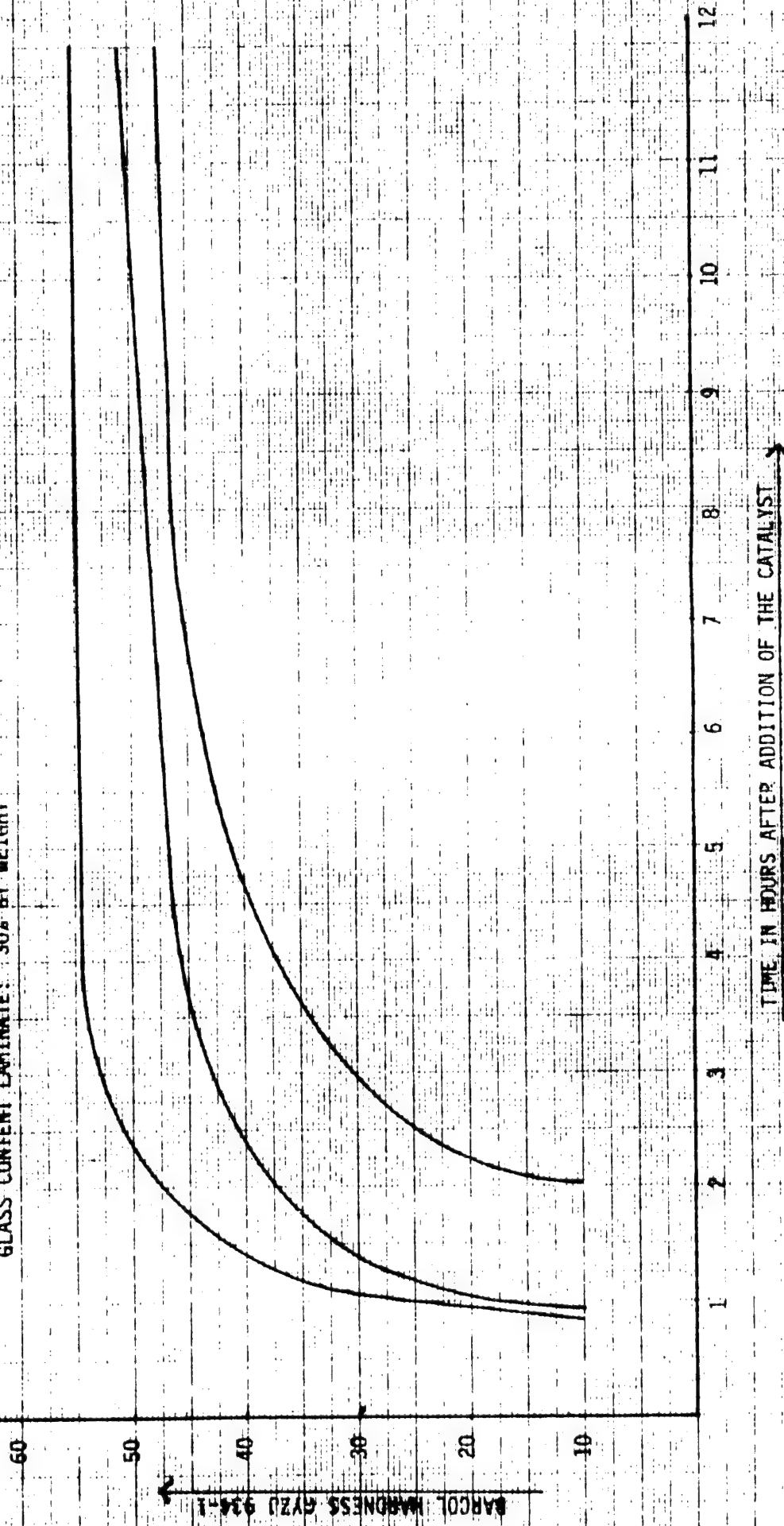
CATALYST : 11 % MEKP 50%  
RESIN TEMPERATURE : 20°C  
WORK SHOP TEMPERATURE : 20°C  
GLASS CONTENT LAMINATE: 30% BY WEIGHT



SYNOPSIS 528-52-3951

INCREASE OF BARCOL HARDNESS GYZJ 934-1 AGAINST THE TIME

CATALYST : 2% MECP 50%  
RESIN TEMPERATURE : 20°C  
WORK SHOP TEMPERATURE : 20°C  
GLASS CONTENT LAMINATE : 30% BY WEIGHT



# COMPARISON OF THE CURING SPEED OF LAMINATES BASED ON:

SYNOLITE 528-59-3951 (PREACCELERATED) + 1% MEKP (50%) (GELTIME + 40' at 20°C)

SYNOLITE 528-59-1085 + 1% COBALT OCTATE (1%) and 1% MEKP (50%) (GELTIME + 40' at 20°C)

RESIN TEMPERATURE : 20°C WORK SHOP TEMPERATURE: 20°C

GLASS CONTENT LAMINATE: + 30% BY WEIGHT

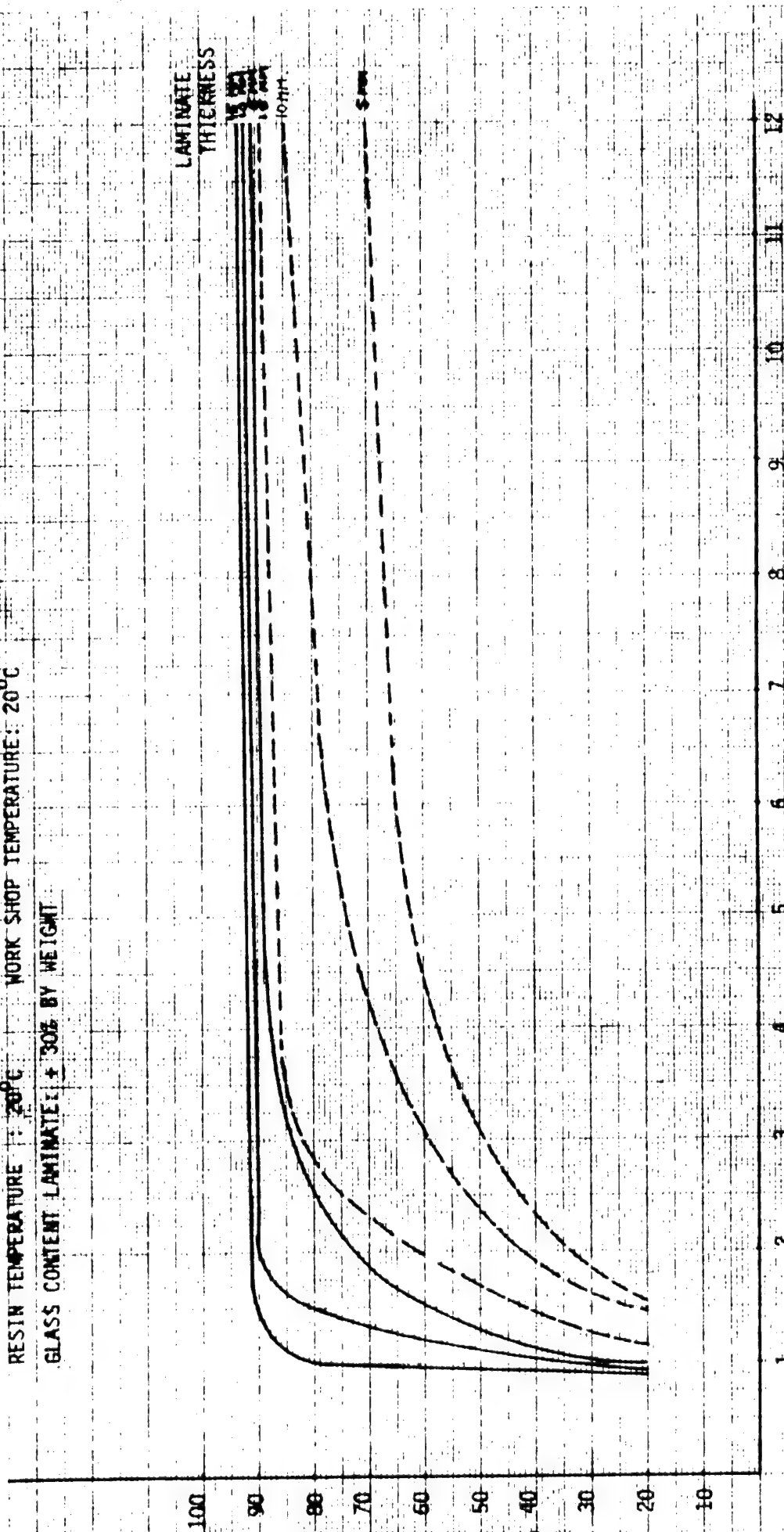
LAMINATE  
THICKNESS

1/8" 3/16" 1/4" 5/16" 3/8" 1/2" 5/8" 3/4" 1" 1 1/4" 1 1/2" 1 3/4" 2" 2 1/2" 3" 3 1/2" 4" 4 1/2" 5" 5 1/2" 6" 6 1/2" 7" 7 1/2" 8" 8 1/2" 9" 9 1/2" 10" 10 1/2" 11" 11 1/2" 12"

5 mm

SHORE D HARDNESS

TIME IN HOURS AFTER ADDITION OF THE CATALYST



## MEANS TO REDUCE ATMOSPHERIC POLLUTION IN OPEN MOULD PRODUCTION

Mr Perry NYLANDER

Laboratory Manager

AB Syntes, Nol, Sweden

### SUMMARY

Atmosphere pollution will occur when unsaturated polyester resins are used in open mould production. Ventilation is important to keep low styrene gas concentrations in workshop atmosphere. Styrene gas evaporating from laminates will enter our environment. Polyesters with suppressed styrene evaporation (suppressed resins or L.S.E. resins, Low Styrene Emission), will reduce gas concentrations and environmental pollution. Syntes developments have made it possible to produce polyester resins with a styrene evaporation of 15 g/m<sup>2</sup> during one hour and excellent adhesion when building in consecutive individually cured layers.

## MEANS TO REDUCE ATMOSPHERIC POLLUTION IN OPEN MOULD PRODUCTION

Perry NYLANDER

AB SYNTES, Nol, Sweden

### INTRODUCTION

Styrene is the most common monomer in unsaturated polyesters for fiber reinforced plastics. Swedish work health authorities have set maximum allowable concentration to 40 ppm of styrene gas in workshop atmosphere.

In Scandinavia the main production of boat hulls is made by spray up. Large surface areas of wet laminate can occur in the work shop. To avoid practical problems by shrink and peak exotherms a two step lamination with curing up to three days between first and second layer is common. This procedure might create an adhesion problem between first and second laminate when standard suppressed resins are used.

To avoid high styrene concentrations the factories have to consider:

1. Suppressed resins because of health aspects, availability, economy, curing and mechanical properties. Our opinion is that styrene monomer is the best choice for general purpose resins.
2. Closed processes. Injection methods are preferred to make big double curved laminates like boat hulls. Production speed, mould design and economy of double moulds have to be evaluated.
3. Effective ventilation.

### LOW STYRENE EMISSION RESINS

AB Syntes decided in 1970 to start a project to formulate a Low Styrene Emission (LSE) resin.

The first generation of LSE resins was born and ready for marketing in 1973 and formulated on the principal of low styrene content.

Our experiments showed that a substantial reduction in monomer loss especially during spray-up was possible by this modification, fig. 1 and 2, resin B is C 125 with a styrene content of 36% and a high shear viscosity of 2 poise. What had to be overcome was that a conventional resin cannot be produced with sufficient mechanical strength, chemical resistance, workable viscosity and low monomer content.

By special processing and formulating we succeeded to produce a low viscosity resin with a styrene content of 36% which was approved in Scandinavia for boat building.

Film forming additives, for example paraffin waxes, was used in the second generation of suppressed resins.

The film is probably formed because styrene concentration becomes lower in the surface to a level where the paraffin precipitates. When a thixotropic agent is added, styrene evaporation decreases, fig. 3, because convective transport of styrene is prevented.

Since viscosity decreases, solubility of the additive and vapor pressure increase with rising temperature. It is expected that styrene loss is temperature dependent, fig. 4.

Styrene evaporation is of the same order for vertical lamination as for horizontal lamination, fig. 5, which is an indication that gravimetric wax transport is of minor importance.

The increase of monomer loss in vertical lamination is explained by the more efficient removal of styrene gas from the surface.

By selecting the best wax type additives general purpose resins with styrene evaporation of 30 g/m<sup>2</sup> h can be produced.

The presence of a paraffin wax film on the cured resins surface might prevent bonding to a second lay up of laminate. Vast series of trials were made before a safe formulation could be established. The second generation of LSE resins was born in 1974. During a period of 3 years monomer loss from laminate was lowered from 50 g/m<sup>2</sup> h to 30 g/m<sup>2</sup> h by increasing wax additive. Strict production control and well trained workers are essential to work with ordinary LSE resins with that low styrene evaporation.

Most critical among the factors influencing interlaminar adhesion are:

1. No resin rich surface can be allowed - especially cured spillage on first lay up is critical.
2. First lay up must be at least two mm thick.
3. Catalyst level must be carefully controlled and should be 1 to 2%.
4. Intermediate cure longer than 24 h without grinding is not possible.



With our third generation resins we have managed to cut monomer loss to 15 g/m<sup>2</sup> with good interlaminar strength when intermediate curing times are less than three days.

The combination of extremely low evaporation and adhesion on cured laminates is unique and therefor protected by world wide patent applications.

Tables and case histories illustrates the advantages with the third generation resins.

TABLE

Interlaminar shear strength, MPa, according to BS 2782 part 3 method 341 A, 120 h cure between first and second lay up.

Resins	A	D
Interlaminar shear strength MPa	23,1	22,3

Resin A is Syntes general purpose resin C 123 an unsurpressed resin with approximate 120 g/m<sup>2</sup> h styrene evaporation.

Resin D is C 114 E surpressed resin.

Resin A with paraffin wax addition is an example of the second generation resins.

TABLE 7

Interlaminar shear strength, MPa, test method 2 and styrene evaporation test method 1.

Cure time between first and second lay up, h	28% glass content		Resin rich surface		Styrene evapo- ration g/m <sup>2</sup> h
	24	72	24	72	
Resin A	15	15	15	15	120
Resin A 1000 ppm paraffin wax added	15	11	5	3	30
Resin D	15	15	15	15	15
Competetive resin	10	5	3	2	29

Our standard test method 2 gives a mixed stress because of the design of the testpiece, see fig. 7.

Resin rich surfaces have been made by adding a 0,5 mm thick layer of unreinforced polyester resin on top of the first lay up. Interlaminar adhesion tests show no difference between resin D and unsurpressed resins. Second generation resins can not be recommended for concecutive lay ups with intermediate curing without sanding.

Evaluation of styrene gas concentration in workshop atmosphere with infrared spectrophotometer shows the real life improvement with resin D.

The same moulds, ventilation settings, room temperatures spray boxes and workers were used to get as equal conditions as possible for each comparison.

Case 1. Bröderna Börjesson, Sweden:

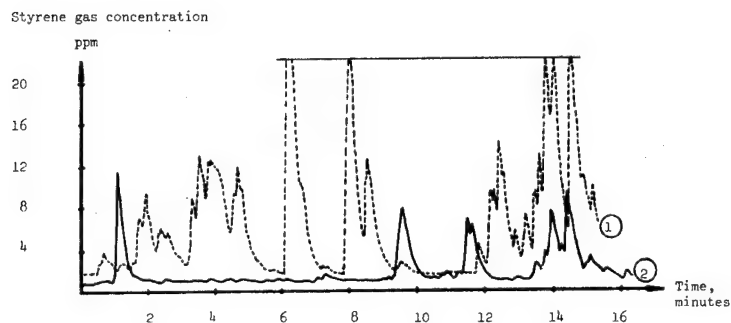
Production approximately 3500 boats a year in sizes 4 to 8 m.

Styrene gas concentration monitored by infrared spectrophotometry.

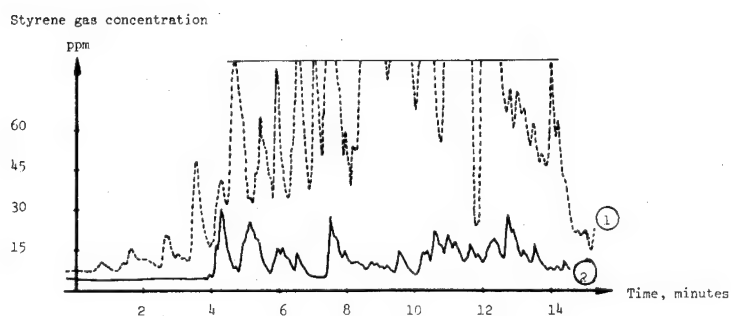
Spraying operation.

1) Resin A, 1000 ppm paraffin wax added.

2) Resin D



Rolling operation.



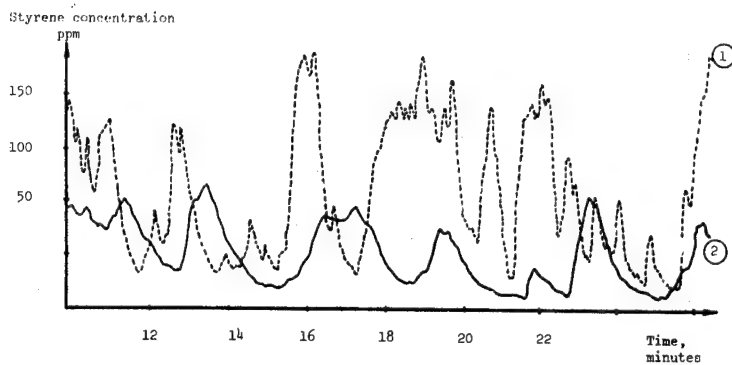
Case 2. Porali Marin, Sweden.

Production approximately 500 yachts a year in sizes 8 to 12 m.

Spraying operation

1) Resin A

2) Resin D



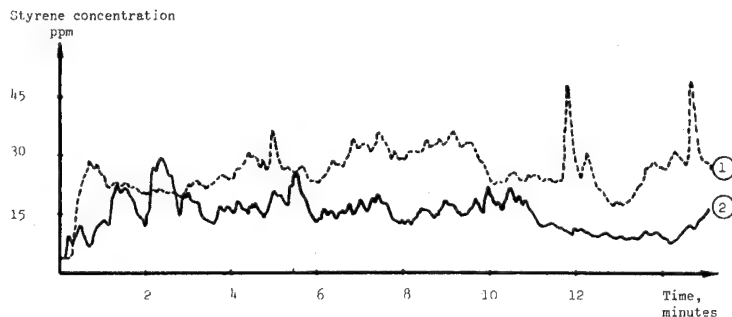
Case 3. B & W Coronet, Denmark.

Production approximately 300 - 400 boats in sizes 9 to 14 m. Fig. 16 - Hand lay up of details for the innerlining.

Spraying operation.

1) Competitive LSE resin.

2) Resin D



#### VENTILATION

To make the best use of air input a laminar flow from non polluted areas to the suction ramp is most effective. Suction should be applied as close to the pollution as possible and the laminar flow is used to transport pollutants to the suction area.

Good results have been obtained with spray room design according to fig.6.

This type of ventilation was used during spray up in case 1 and 2.

The curtain is used to give increased air velocity by reducing the opening when spraying. The first spray room with this design was built at Scandinavian Glasfibers' materials laboratory and evaluated in a project run by the Swedish plastics federation.

Costs for the spray room in Falkenberg were investments in equipment incl. construction and drawings approximately 1,2 \$ /m<sup>3</sup> h. Heating and electricity approximately 65\$ per 8 m boat hull or 0,06 \$ per kilogram laminate.

When unsurpressed resins are used. With resin D costs are reduced by 20 to 60% depending on production methods and product design. Cost savings are greatest in hand-lay up.

To meet the swedish 40 ppm 1500 to 2000 m3/h /meter were used when spraying the unsurpressed resin A.

All data given refers to the spray room in Falkenberg.

For further information on this spray room write to Scandinavian Glas-fiber AB, Box 129-130, S-311 01 Falkenberg.

#### ECONOMY

Cost savings are possible because:

1. Less work is needed to consolidate laminates because more styrene is available for a fast wet out. Approximately 4 to 15% less time is needed.

2. Less air can be used for ventilation with the same styrene gas concentrations or better workshop conditions can be obtained without investments in more effective fans.

With increased production it is often necessary to redo the ventilation system to keep styrene concentrations down.

3. Lower heating costs because of 2.

4. Material savings of approximately 0,2 - 0,6 kg per m2 laminate.

Calculating only the costs for ventilation and evaporated raw material. Possible cost savings on experience from the spray room in Falkenberg for a medium size moulder producing 8 m hulls in three lay ups. Each hull with a weight of 1 ton is resin consumption 60 tons/year.

Ventilation and heating costs per year	Resin A unsurpressed	Resin D
	$180 \times 10^3 \text{ kg/laminate}$ $\times 0,06\$ = 10800 \$$	$180 \times 10^3 \text{ kg/laminate} \times$ $0,03\$ = 5400\$$

Material savings  $60 \text{ m}^2 \times 0,6 \text{ kg/m}^2 \times 180 \times 1,4 \$/\text{kg} = 9072 \$$   
Three lay ups 20 m2 each.

Cost benefit with resin D  $10800 \$ - 5400 \$ + 9072 \$ = 14472 \$ = 80 \$ / \text{hull}$ .

To these cost savings you can add savings in labour costs which are to dependent of production methods in the individual workshops to be evaluated in this calculation.

Total cost savings has been estimated to 200 \$ per 8 m hull by swedish manufacturers.

By using our surprpressed resins some of our customers have been able to meet the environmental standards without a costly exchange of ventilation equipment.

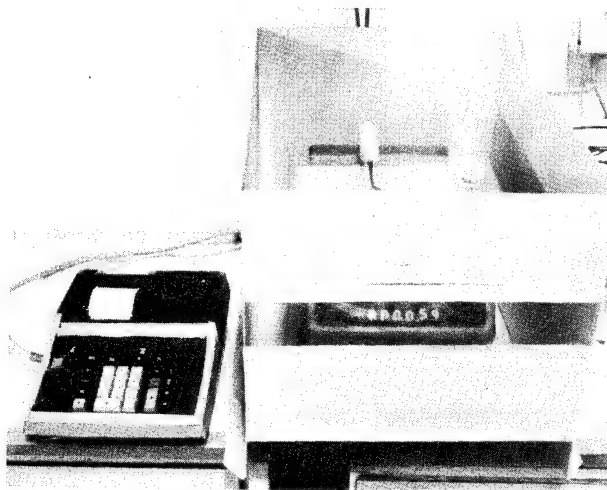
If and when restrictions on organic outlets to air appear the surprpressed resins might be of importance to decrease costs to clean the ventilated air.

## TEST METHODS

### Test method 1

Styrene evaporation at  $20,5 - 0,5^{\circ}\text{C}$ .

Three mat plies  $25 \times 25$  cm are weighed. Resin weight to give 28% glass is computed. Steel roll, resin beaker and plies are placed on a glass plate. The glass plate with the material is put on a recording balance which is set for zero. The plies are impregnated, which takes two minutes. Automatic recording is then started. Monomer loss is computed as g/m<sup>2</sup> during one hour including loss during lay up. No catalyst is used. (See Photo).



### Test method 2

#### Interlaminar shear strength

Two plies of 450 g/m<sup>2</sup> glass are impregnated with a steel roll and allowed to cure for the times specified as cure between consecutive lay ups. The first lay up is covered with two polyesterfoils leaving the test surface uncovered. Two plies are laminated on top. Test bodies are prepared by cutting down to the polyester foil from both sides leaving only the test surface to connect first and second layer giving test pieces according to fig. 7.

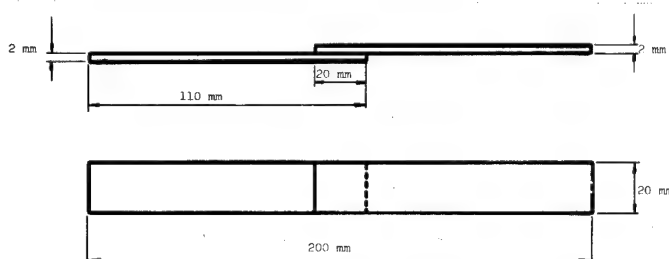


Fig. 1. Styrene evaporation during spray up as a function of monomer content. Resin B.

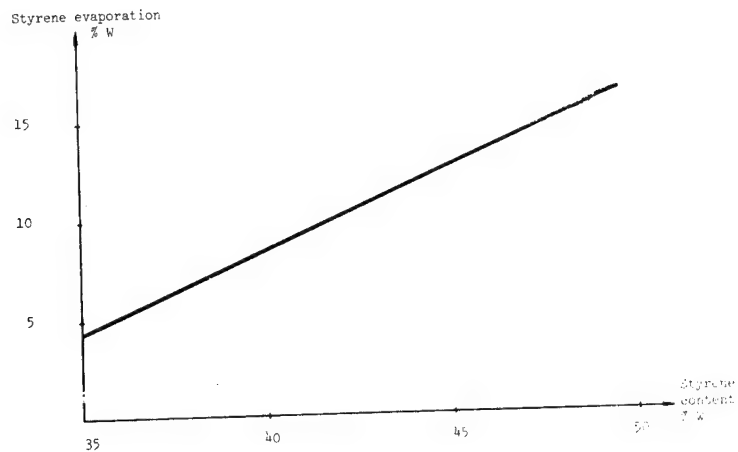


Fig. 2. Styrene evaporation with varied monomer content test method 1.

1. Resin A 42% styrene content

2. Resin A 28%    -"-    -"-

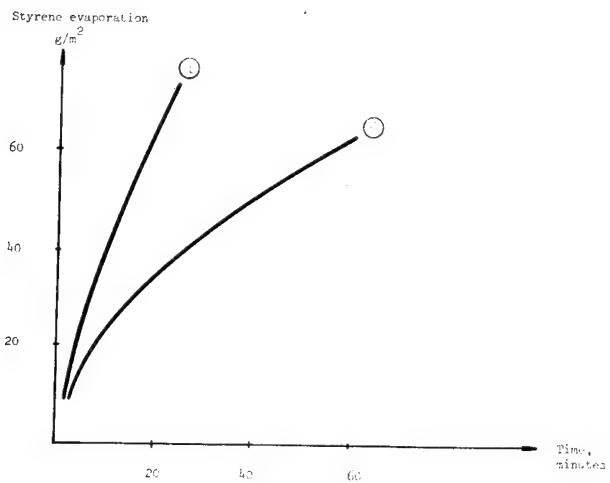


Fig. 3. Styrene evaporation in a thixotropic system.

Testmethod 1. Resin A suppressed with 1200 ppm paraffin wax.

Viscosity at approx.  $10000 \text{ S}^{-1}$   $25^{\circ}\text{C}$  1,5 poise.

1. Viscosity at approx.  $5 \text{ S}^{-1}$   $25^{\circ}\text{C}$  1.7 poise

2. Viscosity at approx.  $5 \text{ S}^{-1}$   $25^{\circ}\text{C}$  10 poise  
1% fumed silica added.

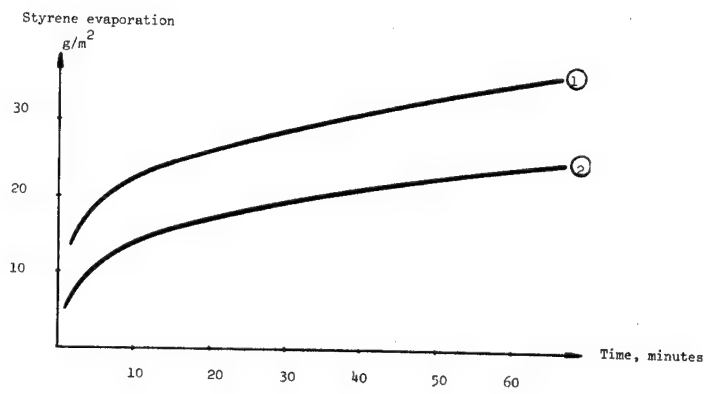


Fig. 4. Temperature dependence of styrene evaporation.

Test method 1.

Resin A suppressed

1/ Temperature  $23^{\circ}\text{C}$ .    2/ Temperature  $20^{\circ}\text{C}$     3/ Temperature  $18^{\circ}\text{C}$ .

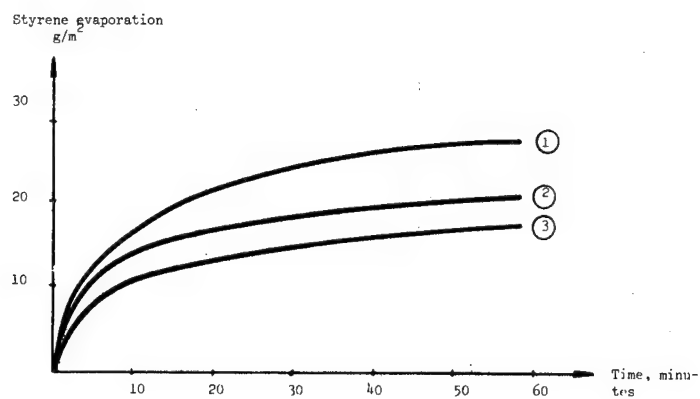




Fig. 5. Styrene evaporation in horizontal and vertical lamination.

1. Resin A unsurpressed vertical.
2. Resin A unsurpressed horizontal.
3. Resin A surpressed vertical
4. Resin A surpressed horizontal.

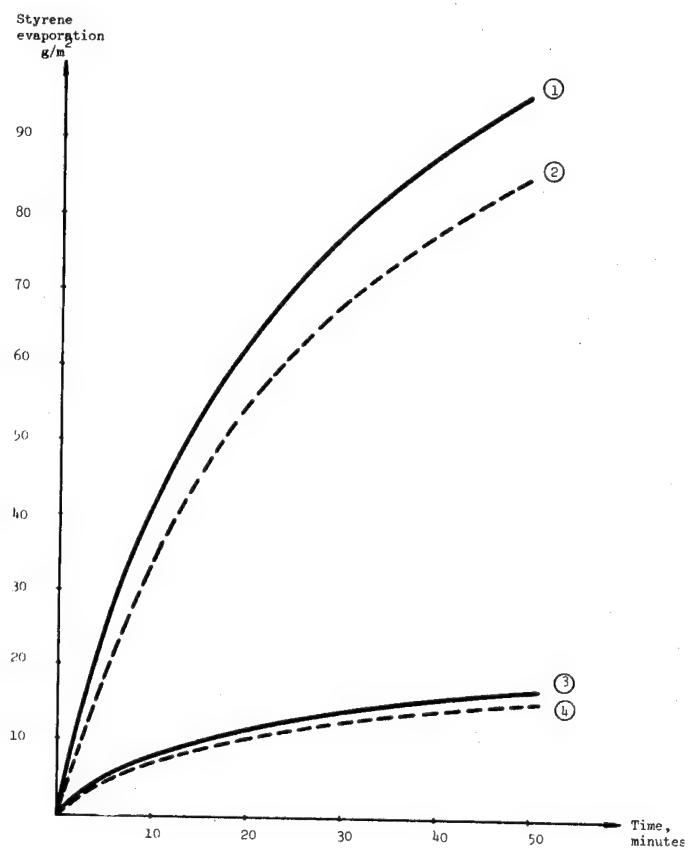
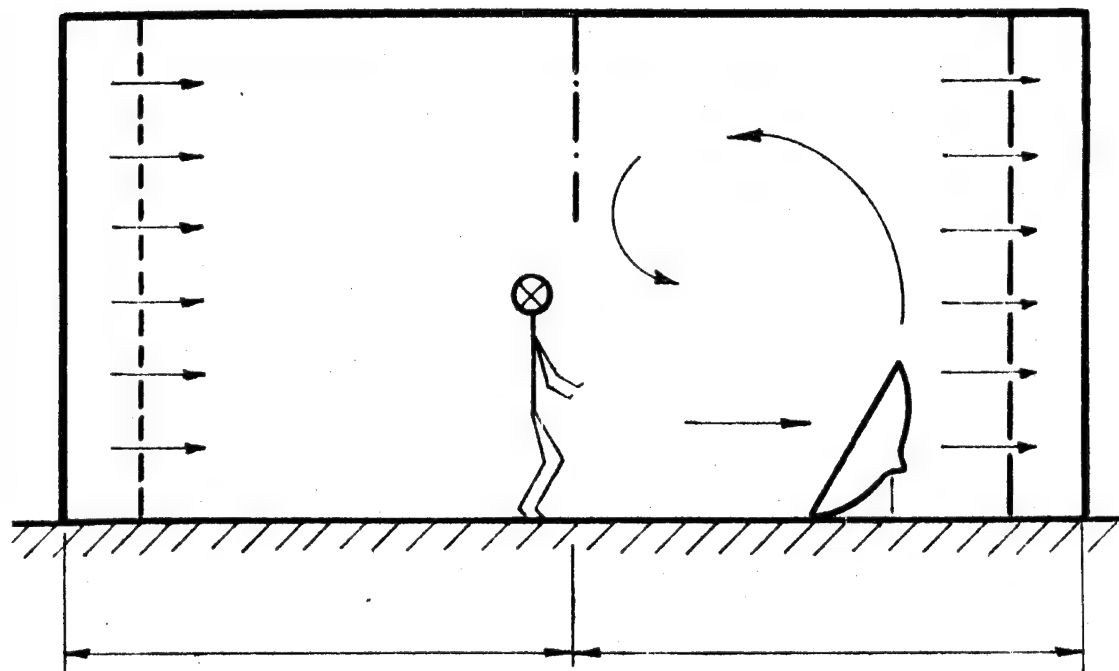


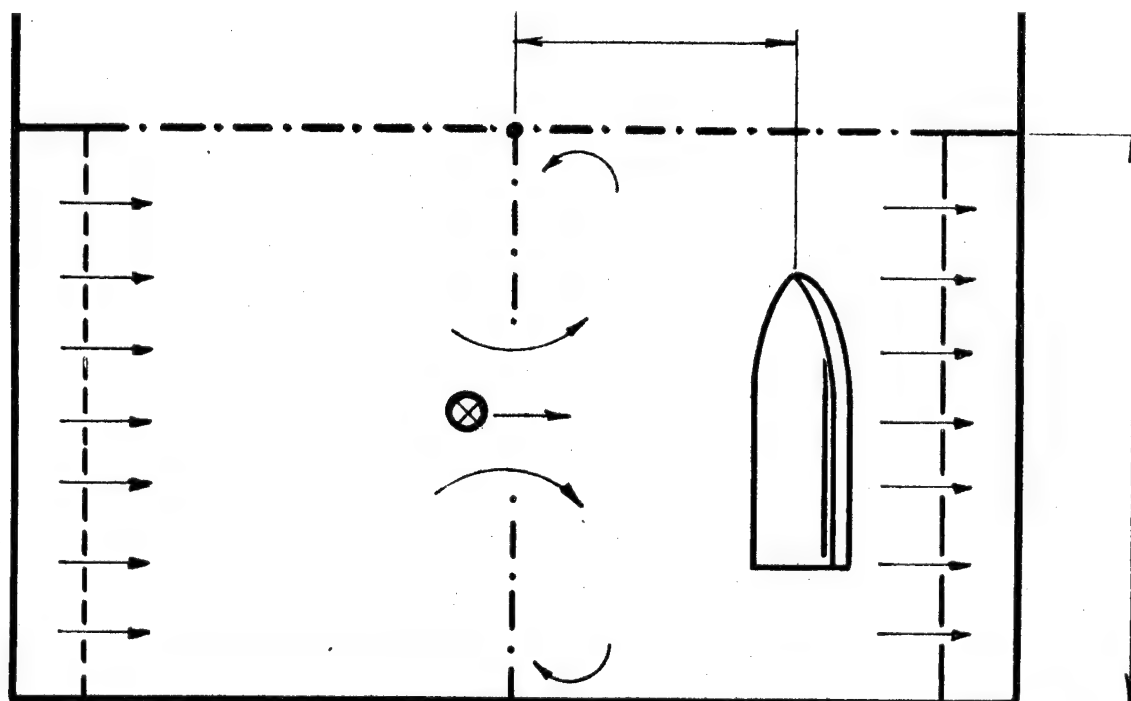
Fig. 6. Spray room with adjustable curtains. Design for laminar flow.



— . — . — Adjustable curtains

— — — Suction ramp

— — — — — Perforated wall



## DAS MONOFORMVERFAHREN

## THE MONOFORM SYSTEM

Mr J. COUDENHOVE,

Managing Director

J. Coudenhove, Wien, Austria

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine Abart des Injektionsverfahrens unter zusätzlicher Verwendung von Vakuum für die Herstellung von grossflächigen Teilen aus glasfaserverstärkten Kunststoffen. Als besondere Vorteile können angegeben werden : Umweltfreundlichkeit (Styrolemission unter 5ppm), wesentliche Arbeitseinsparungen gegenüber Handauflegeverfahren und Faserspritzverfahren, keine Abhängigkeit von der Geschicklichkeit der Arbeitskräfte sowie reproduzierbare Teile mit beidseitig glatten Oberflächen.

## SUMMARY

(27) (A monoforming molding system)

This is a variety of the resin injection method with additional use of vacuum for the production of large area GRP parts. The following advantages are claimed : Low styrene emission (under 5 ppm), very considerable labour savings as compared to hand lay-up and spray-up, no dependence on the skill of the operator. Also, reproducible parts with two smooth surfaces can be achieved.

is described

Author

## MONOFORMING, A NEW SYSTEM FOR PRODUCING LARGE-AREA GRP PARTS

Jakob Coudenhove-Kalergi  
A- Vienna

The production of large GRP-parts so far has been confined to the open mould methods, namely hand lay-up and spray-up. There is no need to go into details of these two methods.

SMC and BMC moulding as well as other forms of hot press moulding are, needless to say, much more rapid and economical than both hand lay-up and spray-up, wherever large runs are concerned. However, there is a wide field of different articles from all industries where the runs are not sufficient to warrant investments in steel tools and presses. This figure is generally placed at a minimum of between 10.000 and 15.000 units. Regarding the size of the item, hot press moulding naturally has its limitations also.

Monoforming, the subject of this paper, is a variety of the pressure-resin-injection-method.

PRESSURE-RESIN INJECTION, or Resin Transfer Moulding (RTM), as it is called in the United States, has attracted a lot of attention both in Europe and overseas, in the recent past. The System: Dry glass reinforcement - this can be mat, cloth, woven rovings, or a combination thereof - is placed in a mould. The mould is closed and resin is injected under pressure in such a way that the glass reinforcement is completely saturated. The moulds are generally made of fibre glass reinforced polyester resin, epoxy resin, sprayed metal or

aluminium. The advantages of this system over the open mould methods are obvious:

No. 1 - There is almost NO STYRENE EMISSION. Costly ventilation systems are not required. This is especially important in view of the new regulations in many countries reducing the permissible styrene level from 100 ppm to 50 ppm and in some cases 25 ppm.

No. 2 - LABOUR. To find hand lay-up operators and - even more critical - spray-up operators is getting more and more difficult. Considerable training and skill is required of a spray-up-operator to enable him to produce parts of good consistency. With pressure-resin injection, this problem is greatly reduced.

No. 3 - QUALITY. Whereas in open mould methods only one smooth surface - the one facing the mould - can be achieved, both surfaces are smooth with the pressure-resin-injection-process. One or both surfaces may be gel-coated. In many cases, pigmented resins and surface tissues or veils will be sufficient (without a gel-coat). Cycle-times in such cases are reduced.

No. 4 - Material Saving. In manual operations, especially with spray-up, wall-thicknesses in the part will vary according to the skill of the operator. Variations of  $\pm 25\%$  - and in most cases more - are common. The result is a considerable waste of material: If a minimum wall-thickness of 3 mm has to be achieved, the operator has to aim for 4 mm in order to make sure that the 3 mm are actually produced. The result: a part which is heavier than necessary. With pressure-resin injection, re-

producible parts can be made using consistent material quantities within close tolerances.

Pressure-Resin Injection requires fairly rigid moulds in order to resist the internal pressure of the resin being introduced between the two mould halves. This limits the size in the case of larger parts. Handling as well as cost become a problem and presses or press types have to be used. MONOFORMING is a vacuum-assisted resin injection method which has been developed to overcome the problems of heavy moulds. We have chosen this word at random to distinguish it from the vacuum-injection method which has been known for a number of years. In the vacuum-injection method resin is introduced into a closed mould system, by means of vacuum and then drawn through the glass fibre mat. The male mould is either a lightweight flexible mould made of GRP or a plastic film (PVA, polyethylene or another plastic film.)

The Monoform-system which is marketed as package, combines pressure-resin injection with vacuum. Special equipment, moulds and technology have been developed to this end. The system is valid for both small and large parts. All the advantages of resin injection also apply to Monoforming.

Pressure-resin injection, vacuum-injection as well as a combination thereof are basically not new. In every GRP-text-book dating back as early as 1956, these methods are being mentioned. However, in reality, the systems have not been used to an extent as to create an impact on the GRP-industry. Their use has been confined mostly to individual companies with dedicated technicians - one could

almost call them artists - who have perfected this system for their own companies and products. Such individuals are, unfortunately, rare. The average GRP-fabricator has - and should have - one purpose only: to fabricate GRP and produce good, saleable products. He has neither the personnel nor the time to engage in long range development projects.

This, I believe, is the basic reason why resin injection and Monoforming have not spread widely.

At this point I must make mention of our company: COUDENHOVE Ges. m. b. H. has produced spray-up equipment as early as 1960. About seven years ago we became actively interested in resin injection. The limitation in size of resin injection parts motivated us to investigate further the possibility of combination of pressure-resin-injection and vacuum. The last three years have been spent to perfect this system.

Let us look at a comparison between hand lay-up, spray-up and Monoform, based on a report made by the Laboratorium für Kunststofftechnik, Vienna, an independent research organization.

The part in question is a camper trailer up to now produced by manual methods (hand lay-up and spray-up). It is a part weighing 12 kg and having an overall surface of 2,37 m<sup>2</sup>. The gelcoat has been applied by spray-gun.

Einschaltung 2. LKT

In conclusion, you will now see a film showing the production of this part by the Monoforming method. Since

the time the film was made last fall, considerable improvements were made in the general technology. This concerns both the chemical systems resulting in shorter cycle times as mentioned previously as well as the handling equipment for the moulds which has been largely automated.



# CAMPER-TOP

LENGTH 1450MM, WIDTH 1050 MM, HEIGHT 170 MM  
WEIGHT 12 KGS (APPROX.)

MOULDS	HAND-LAY UP	SPRAY-UP	MONOFORM
	ONE FEMALE	ONE FEMALE	TWO FEMALES, ONE MALE
CYCLE TIME:	2 <sup>h</sup> 49 MIN.	2 <sup>h</sup> 03 MIN	30 MIN.
WORKERS :	TWO	TWO	ONE
ACTUAL WORKING TIME	2.12 MIN	48 MIN	24, 5 MIN
NOT INCL. GELCOAT	1 WORKER = 1 <sup>h</sup> 19 MIN 2 WORKER = 53 MIN	1 WORKER = 33 MIN 2 WORKER = 15 MIN	
SMOOTH SURFACES	ONE	ONE	TWO
STYRENE EMISSION	NOT MEASURED	NOT MEASURED	BELOW 5 PPM.

THIS IS AN EXCERPT FROM OFFICIAL REPORT, COMPLETE VERSION UPON REQUEST

FUTURE PROSPECT OF MARKET REQUIREMENTS AND SMC DEVELOPMENTS FOR  
AUTOMOTIVE APPLICATIONS IN EUROPE

Mr Gerd EHNERT

Leiter der Entwicklung und Materialkontrolle

Menzolit-Werke, Kraichtal/Menzingen, Germany

SUMMARY

Since strength properties of thermoplastics are coming closer to smc, the industry remembers about the basic properties of reinforced polyesters and forces new developments in order to open new application areas for smc. The paper outlines the development trends of smc in Europe for the next years regarding materialstructure, properties, processing, molding, rework and painting.

## FUTURE PROSPECT OF MARKET REQUIREMENTS AND SMC DEVELOPMENTS FOR AUTOMOTIVE APPLICATIONS IN EUROPE

Gerd Ehnert

MENZOLIT-WERKE, Kraichtal/Menzingen - Germany

### 1. Introduction

The price increase of gasolin in Germany has been about 100 % within the last 10 years. Light weight cars are in construction for the new models in the 80's in order to reduce the gasolin consumption. To achieve the goal the number of plastic parts in passenger cars will increase.

First sign for the trend is the 130 Mio. DM investment (~76 Mio. Dollar) of Ford in an new plant for plastic parts in West-Berlin with 700 employees.

Mercedes Benz also considers to invest in an new plant which will have 1000 employees.

The European SMC molders are trying hard in order to get a part of the future business.

Keeping an eye on the US market, the European SMC molders have hoped to apply similar applications on passenger cars with SMC. However before SMC could seriously be considered for such applications, the design trend went over to flexible front + rear ends in PUR and PP-EPDM. These went partly round the entire lower part of the vehicle as crash protection.

Today bumpers are still more or less looked up in Europe as decorative parts. The sheet metal bumpers have now been replaced by PP-EPDM bumpers on some vehicles. Some of these are reinforced with a sheet metal profile. During a crash the bumper stays undamaged but the chassis or the body could have a certain damage. These are not visible from the exterior as they are hidden by the bumper.

The development of SMC with directed glass fibres for high materials strength for beams has not been acknowledged by the automotive industry. Renault is the only company that has SMC bumpers on the R 5 and R 14 that withstand a crash at 2.5 mph. They have stayed faithful to their material conception. The SMC bumper on the Fiat 128 was replaced by one of PP-EPDM after a certain running period. As no European safety standard exists concerning crashes at 2.5 mph without car damage, the decision was given to PP-EPDM bumpers as these work out cheaper than bumpers from SMC.

Present SMC exterior parts are painted in body color on the Porsche 924 (bumper and sun roof), Ford Granada (C-Pillar part), Ford Taunus (C-Pillar part, two-piece).

The C-Pillar parts for Ford are the first large series that have been molded and primed by the molders. According to European quality

specifications, the quality of the large series products and reproductability is being watched. The SMC processors and molders in Europe have been put under strong pressure by the quality demands dictated from the market. Although the SMC application for exterior parts on lorries and vans has increased slowly but surely, with passenger cars it has remained at only a few applications. The reason for this were the frequent paint defects and the weak trust in the reproduced quality of the material in large volume production. All the efforts that SMC molders have made to improve the quality are now showing positive results.

## 2. The shrinkage

The development of the LP resins was the basis for the application of SMC for passenger car exterior parts.

The low profile reaction reduces the polymerization shrinkage and improves the surface quality, also reducing the sink marks over ribs and bosses. However the thermic shrinkage of body exterior parts was still relatively large caused when cooling the part down from mold temperature to room temperature.

The linear shrinkage of SMC is influenced by the LP additive, the filler content, the filler quality, the glass fibre content and the orientation of the glass fibres.

The linear shrinkage is made up of the reaction shrinkage and the thermic shrinkage when the part is cooled down from mold temperature to room temperature.

If we follow up the development of SMC formulations over the past years, we can see that considerable development work has been done to achieve the optimal filler loading in order to reduce the linear shrinkage as much as possible.

Up to 200 phr (phr = per hundred resin) filler is used. The brittleness of the SMC increased with such high filler content. Depending on the design of the part microcracks appeared caused by local excessive strain when the part was removed from the tool. The microcracks are visible when the part surface is dyed. The microcracks cause minute craters in the primed surface which can only partly be seen through a magnifying glass. The reach their proper size only after top-coating.

## 3. Toughness and Elasticity

Because of the relatively high filler content LP-SMC has reduced elongation properties. Additions of toughener made from rubber or on elastomerbasis or already tough LP-resins will be used more and more. Prerequisite for the increased application of such resins and additives is the retaining of the current LP-properties in the SMC.

Still there is a great uncertainty about the test method of the toughness. We believe that from the known test suggestions the flexural test method supplies useful results because it is an everyday practice testing method. From a tough resin we expect that beside the elongation also the stress increases. A test method which measures the elongation only, as for example measuring the torsion angel up to the first crack without measuring the applied force, gives insufficient information to ascertain

whether the material is tough or flexible. The flexural test made on a normal testing machine meets all these requirements (picture 1). Test bars of 120 mm length, 25 mm width and a support distance of 100 mm have been used. The start up of the micro cracking was determined by using stethoscope and the cracking point has been marked on the recorded force/deflection graph. Since each manufacturer has the necessary testing machines it is possible to realize the test without investments.

#### 4. The glass fibre structure

The selection and amount of additives, fillers and the glass fibre content are influence factors which are predetermined in the formulation. The orientation of glass fibres in the part however, is the result of shape and size of the SMC charge and the part design. The influence of glass fibre orientation on the linear shrinkage makes shrinkage differences possible from  $\pm 10$  times based on random glass fibre structures. In many moldings the influence of the glass fibres on the shrinkage behavior of the part is underestimated and more effort is put in new LP-additives and formulations instead of investigation about the glass fibre structure in the specific part areas.

SMC has a laminated structure in which we have a two dimensional glass fibre reinforcement. The laminated structure of the SMC stays stabile during the molding process. The connection of the individual SMC layers in the laminated structure is dependent on the number of SMC layers in the charge.

##### 4.1 The forming behavior of SMC in a flat plate

The flow distance of the individual SMC layers is dependent on the viscosity which is influenced by the temperature (picture 2). The SMC charge has mostly room temperature if it is placed on the mold. The upper and lower SMC layers quickly reach a lower viscosity level during the flow due to the direct contact time of the SMC charge with the tool surface is relatively short and insufficient for an equal heat up of the charge. Therefore we have a temperature profile in the charge which is decreasing from the outer to the inner layers. The viscosities behave similarly to the temperature profile (picture 1).

When there are an even number of layers in the charge, then the middle layers have equal temperature and therefore the same viscosity. These layers will have the same relative flow motion during the forming in the tool which results in insufficient connection between the layers. Such a part will be sensitive to delamination. Should there be an uneven number of layers in the charge, the relative flow motion in each layer is different and enables good connection between the layers.

The different forming in the individual layers results in glass fibre orientation perpendicular to the flow direction. The amount of fibre orientation depends on the glass fibre length. These typical SMC properties efficiently used in the part design can improve the part strength.

#### 4.2 The forming behavior of SMC in ribs and bosses

For the influence of the depth of sink-marks over ribs and bosses the same parameters are responsible as for the linear shrinkage (picture 3). Additional difficulty is caused due to the fact that SMC is a two dimensional reinforced material which has to be formed in the three dimensional shape of ribs and bosses. The two dimensional glass fibre structure is interrupted by fibre turbulences and changes in the angle of the laminated structure. Such interruptions in the glass fibre structure results in changes of shrinkage and creates the typical shrinkage profile over ribs and bosses.

Because of importance the shrinkage profile over ribs will be explained on the graph (picture 2 + 3). The pole diagram shows the shrinkage of SMC in reinforcement direction and perpendicular to it. The shrinkage for each SMC layer angle in the rib can be determined in the pole diagram and is drawn over the rib on the place where the shrinkage has been determined. The final graph shows the typical shrinkage profile.

#### 4.3 The waviness

Investigations have made clear that the surface waviness is originally due to unequal forming behavior within the SMC layers. This results in unsymmetrical glass fibre structures within the part wall which cause unsymmetrical thermal shrinkage. The parts have no waviness at mold temperature. Only when they are cooled down to room temperature does waviness become visible (picture 4).

We are not certain whether the forming behavior of SMC can be influenced in order to avoid this effect.

But first trials with new LP-resins have shown that this effect can be influenced by the type of resin used.

The waviness of SMC parts often has been criticized by the German automotive industry and it will again be the criteria in the choice of the material for large exterior parts.

#### 5. Porosity

For paintable automotive parts we need a uniform closed part surface without pores. With the increase of knowledge on the influence factors for the surface quality we will go step by step in order to reach our goal. One of the influential factors is the wet-out and the wetting speed of the glass fibres, to which we have in the past given very little attention.

Recently made investigations have pointed out that the wet out of filaments is of great importance for a porosity free surface. Because of the quality requirements of the surface the amount of filler in the formulation has over the past years been increased. The amount of resin left for the wet-out of the filaments became smaller.

Pores are the reasons for defects in the painted surface. Three causes are responsible for the origin:

- A. Entrapped air in the SMC caused during the impregnation of the glass fibres on the line. One part of the air escapes under the impregnation rolls and one part remains in the SMC.
- B. Entrapped air caused due to molding (picture 5). If the wavy SMC-surface gets into contact with the flat mold surface, there is merely some air trapped in on the surface. Such entrapped air is only able to escape during the flow of the SMC if there is a sufficiently large ratio between projected mold surface and charge size.
- C. Glass fibre wet-out

## 6. High strength SMC

The investigation of the glass fibre structure of the SMC by x-raying makes it possible to produce parts with a glass fibre structure based on the strength requirements. These are an optimum regarding partweight, reinforcement content and strength. The development of the high strength SMC was influenced by the knowledge of forming behavior of SMC resulting from x-ray investigations.

Higher strength in SMC can be reached by increasing the content of random glass fibres. Since many parts only need the high strength in one direction of preference, the fiber strength utilization is better if the fibres are oriented. This is already how far we are today and many molders are putting this technique into practice. It is possible to increase the strength without changing the total glass fibre content.

The strength increase has been measured on test bars but there are difficulties in many places transferring the predetermined strength of the SMC into the part. On x-raying molded parts it can be observed, that SMC with directed glass fibres has different forming behavior than normal SMC. The charge size has to be developed depending on the new forming behavior.

Following assumptions determine the charge size:

- 1. The directed continuous glass fibres in the SMC have to retain their orientation during the flow of SMC in the mold.
- 2. The directed continuous glass fibres have to be put under prestress in the part. Loops and waves in the directed fibres will reduce the strength (picture 6).

When enough is known about the forming behavior the charge size development does not create any problems. Once the charge has been developed there will be a reproducible glass fibre structure in the part if the charge is placed steadily on the mold.

SMC with directed glass fibres was introduced at the AVK-Conference 1976 and this was the start of new developments. New processing methods and additives are the basic for the new high strength SMC developed at MENZOLIT which is able to replace steel and aluminium in certain applications. For example in bumpers for heavy cars which have to meet US specifications, picture 7.

Six SMC grades covering the flexural strength range from  $280 \text{ N/mm}^2$  to  $780 \text{ N/mm}^2$  and the E-modulus range from  $15 \text{ kN/mm}^2$  to  $30 \text{ kN/mm}^2$ . For each specific application the right material type is available as to strength and price (Table I).

RPP-HMC II is comparable to XMC regarding material strength. However EPP-HMC II is produced on modified SMC lines and therefore can be produced faster and cheaper than XMC.

## 7. Conclusion

SMC materials have mainly two dimensionally reinforced glass fibres and belong to laminated structures. The difficulties how to mold two dimensional reinforced materials into a three dimensional tool are known. When more x-raying is carried out during in the next years this will help to understand the forming properties of SMC better and will positively influence the part quality.

The processing of high strength SMC with directed glass fibre reinforcements to bumpers and similar shaped structural parts will increase. High strength SMC will be a replacement material for aluminium (picture 8 + 9). The flexural strength of  $780 \text{ N/mm}^2$  and the E-modulus of  $30 \text{ kN/mm}^2$  which had been reached can still be further developed with glass fibre reinforcement.

The significance of SMC with hybriide reinforcement will increase because of the possible high E-modulus at relatively low costs. It should be remembered that the development activities for high strength SMC are growing and penetrating into new fields of application.

The larger series productions of SMC parts of the future will force the molding process to be automatized, reduce the cycle times and reduce the quality variations caused by the manual press loading due to variations of charge placement.

A decision about the production process for medium sized parts between compression molding and injection molding will be made in the future. We obtain higher strength properties in the compression molded parts. However for the deflashing more personnel are required. Development work is now being started in order to obtain a flash free compression molding method. If this is successful the SMC processing of automotive parts by compression molding can then be fully automatized.

The improvement in quality of the SMC parts over the past years has made SMC a serious candidate for its use in passenger cars. The application range from body exterior parts to structural parts can

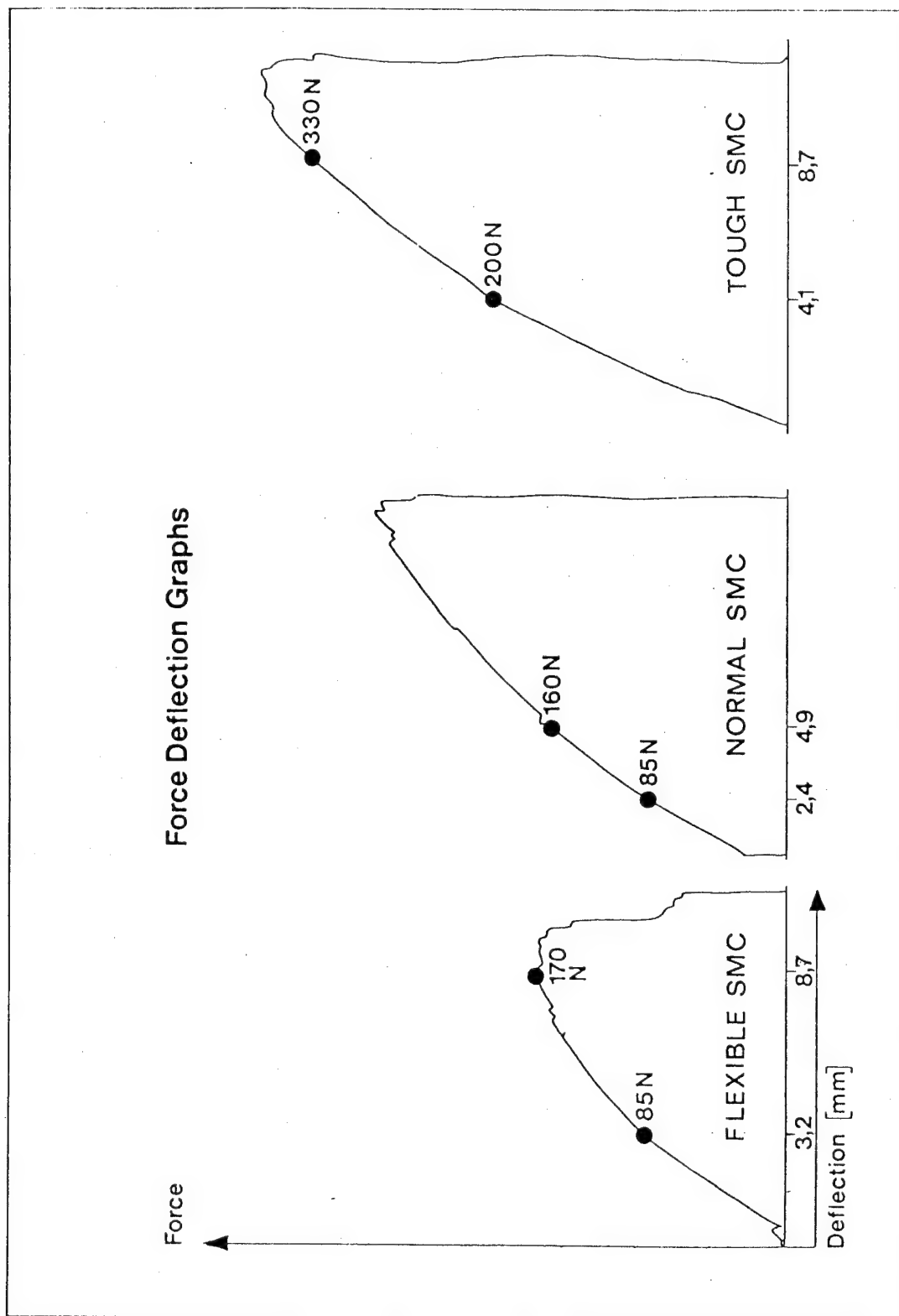


be met with the material qualities available today.

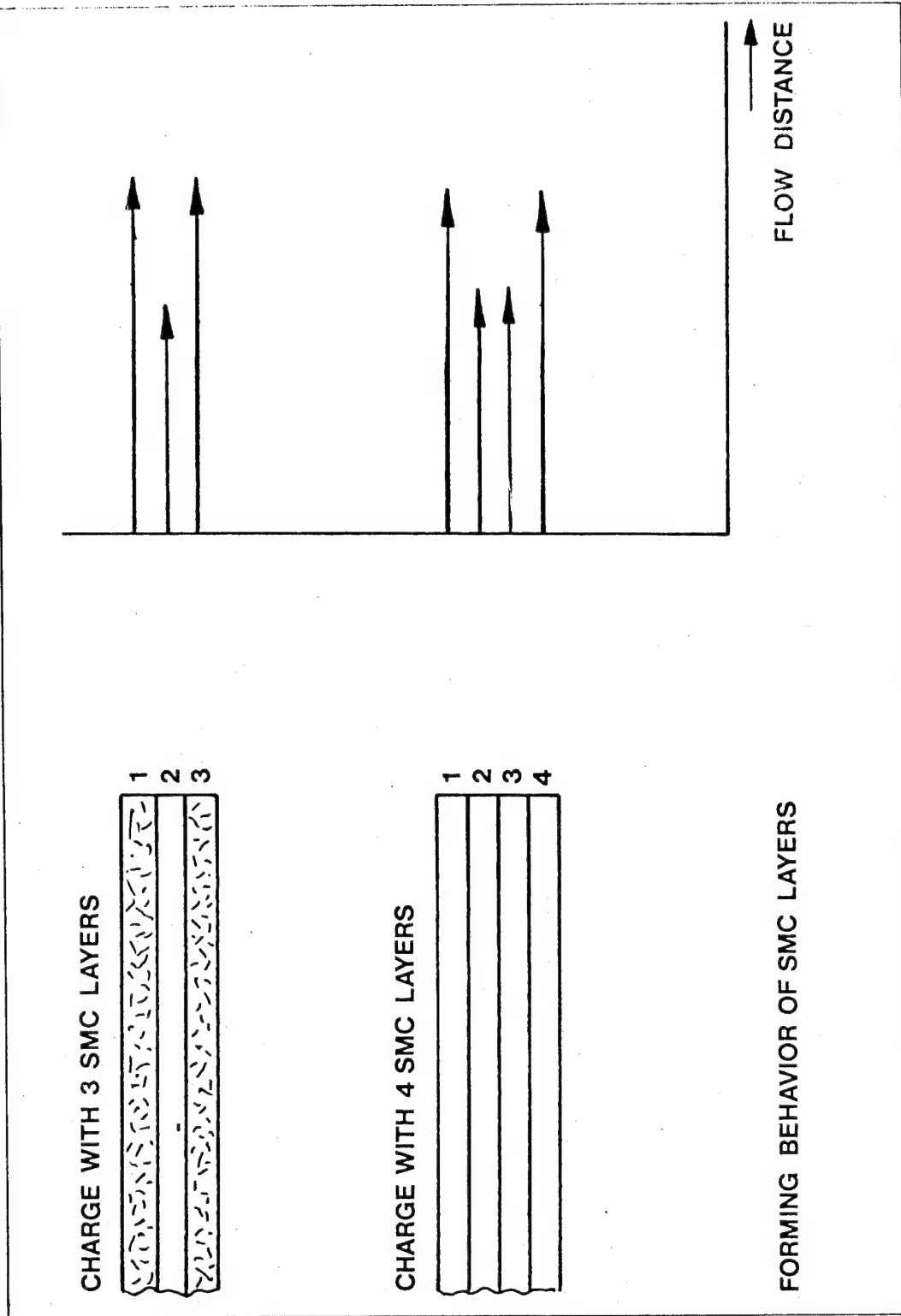
The development activities have increased due to the rising interest of the automotive industry in SMC. It is being planned to automate the production process for future large volume production.

#### R e f e r e n c e s

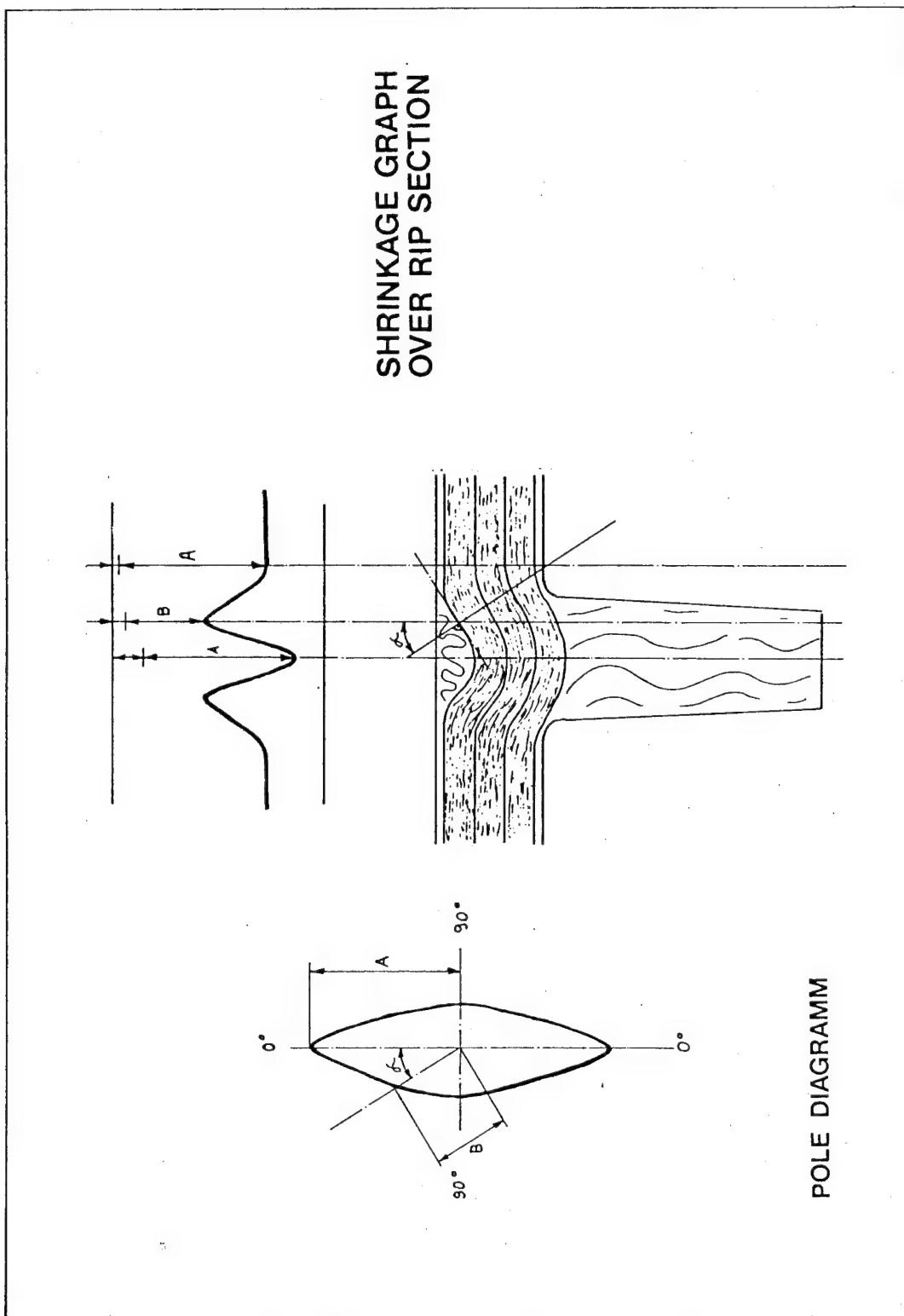
1. G. Ehnert, Bumpers Made from High Strength SMC, AVK-Conference 1976
2. G. Ehnert, New Procedures for the Study of the Forming Behavior of SMC, AVK-Conference 1977



Picture 1

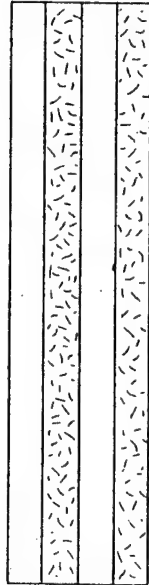


Picture 2



Picture 3

**SMC CHARGE**

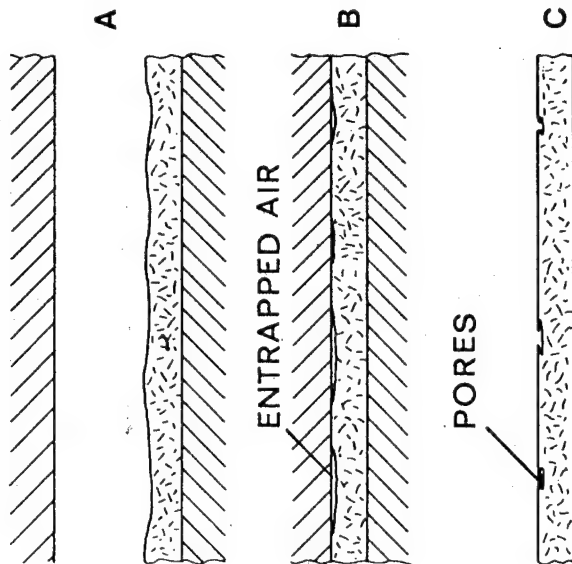


**MOLDED PART**



**VARIATION OF LAYER THICKNESS IN THE MOLDED PART**

Picture 4



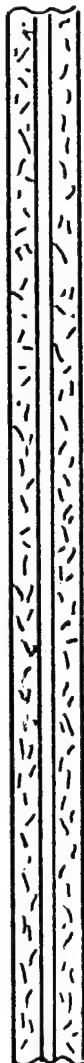
# ORIGINATION OF ENTRAPPED AIR ON THE PART SURFACE

- A BEFORE MOLDING
- B DURING MOLDING
- C AFTER MOLDING

Picture 5



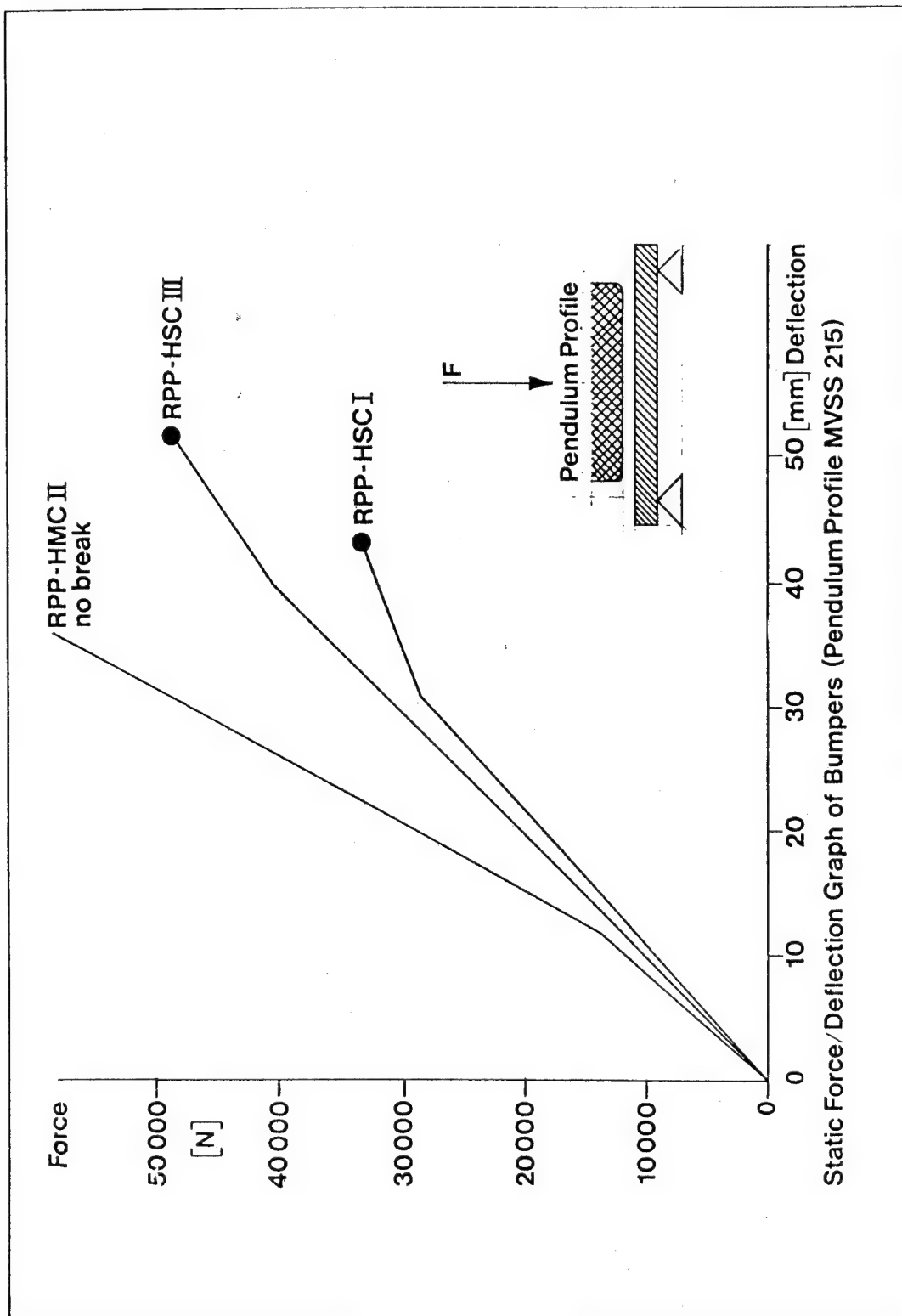
WAVED GLASSFIBRE



PRESTRESSED GLASSFIBRE

PLACEMENT OF DIRECTED GLASSFIBRES IN THE PART

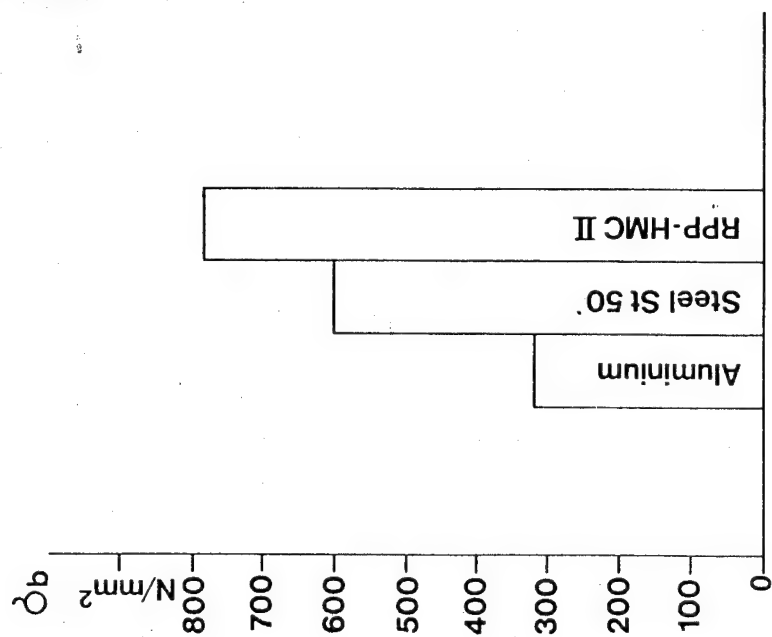
Picture 6



Picture 7

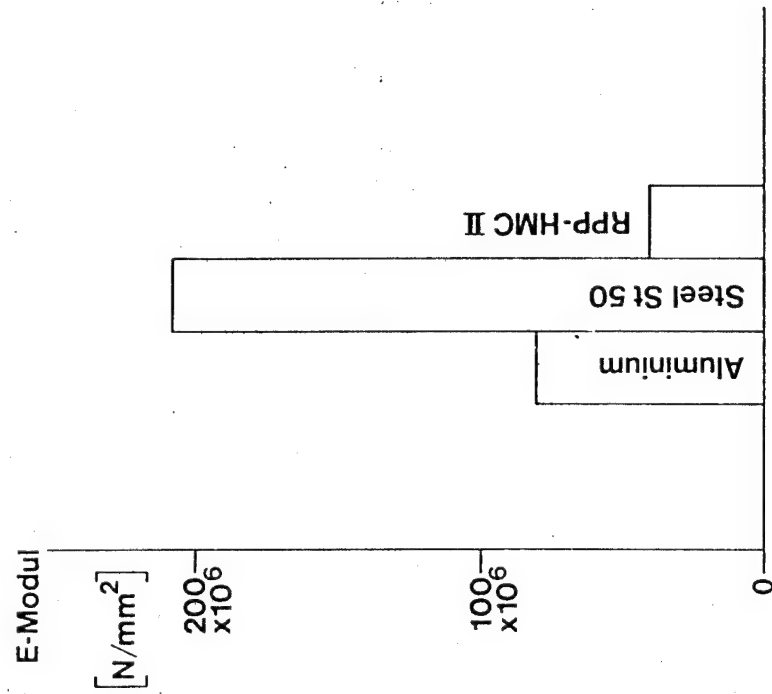


**Flexural Strength Comparison  
between Aluminium,  
Steel and RPP-HMC II**



Picture 8

# E-Modulus-Comparison between Aluminium, Steel and RPP-HMC II



Picture 9

## Physical Properties

		HSC				HMC	
		HSO				HMO	
		I	II	III	IV	I	II
Flexural strength	DIN 53 452 N/mm <sup>2</sup>	280 (140)	320 (120)	400 (83)	460 (67)	580 (95)	780 (77)
E-Modulus	DIN 53 457 kN/mm <sup>2</sup>	15	15	15	15	20	30
Impact Strength	DIN 53 453 kJ/ m <sup>2</sup>	130 (60)	150 (50)	170 (43)	200	270	230 (41)
Density	g/cm <sup>3</sup>	1,8 - 1,9	1,8 - 1,9	1,8 - 1,9	1,8 - 1,9	1,8 - 1,9	1,8 - 1,9
Glasscontent	%	30	30	30	30	50	55

The values in brackets are measured perpendicular to the direction of orientation

Table I

## TENSILE FATIGUE OF SMC COMPOSITIONS

Prof. F.J. McGARRY

Polymer Engineering

Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, U.S.A.

### SUMMARY

When eight parts of HTE liquid rubber are added to a hundred parts of polyester in typical SMC formulations, the resistance to tensile fatigue up to  $10^6$  cycles is improved measurably. VTBNX rubber is less effective. The rubber reduces internal cracking and increases the initial, single-cycle tensile strength. It also improves resistance to impact damage. Other rubbers and other methods of incorporating the rubbers show similar beneficial effects.

## TENSILE FATIGUE OF SMC COMPOSITIONS

F.J. McGarry, J.F. Mandell, D.D. Huang

Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, U.S.A.

### INTRODUCTION

Sheet molding compound (S.M.C.) is used extensively in automotive and other transportation applications, where its formability, stiffness, light weight and corrosion resistance offer attractive advantages. In such applications, both cyclic and impact loadings are experienced frequently so the resistance of S.M.C. to these is important. Cyclic mechanical loading, -fatigue-, gradually weakens the material and lowers its modulus of elasticity. It does so by the growth of small internal and surface cracks which are found in the matrix phase, primarily<sup>(1)</sup>. Often these start near filler particles or fiber ends, where residual stresses and stress concentrations are high, and then propagate for appreciable distances. If the loading is continued, one such crack eventually grows to a critical size and on the next cycle it accelerates uncontrollably: the sample breaks completely.

The incidence and presence of the cracks can be observed in several different ways. When they start, unloading shock waves are released and these can be detected by acoustical sensors placed on or near the specimen<sup>(2)</sup>. As mentioned, the gross modulus of elasticity decreases and the Poisson's Ratio of the material also changes, often greatly. If the test is interrupted and tabs from the sample are immersed in water, the weight gain of these is a sensitive indicator of internal cracking, even after just a few hours of immersion<sup>(3)</sup>. Microscopic examination of polished cross sections permits direct observation of the cracks and a quantification of their extent.

Internal cracking under cyclic fatigue is not unique to S.M.C.; virtually all other kinds of fiber reinforced plastics composites show the same behavior, to various degrees. In fact, woven glass fabric reinforced epoxies were among the first studied in this respect and from that work came the idea of inhibiting the cracks by toughening the resin matrix<sup>(4)</sup>. If the latter could be done, if the cracks could be inhibited or prevented, the fatigue properties of the composite should be enhanced; this proved to be the case.

With S.M.C., a similar enhancement could be more difficult, for two reasons. These compounds contain large fractions of filler particles, each of which is a potential crack starter. Second, the resin phase, which is low in volume fraction, normally is a highly crosslinked polyester and the toughening mechanism employed with epoxies, the inclusion of elastomeric second phase particles, has been less effective with polyester. Where a factor of 15 or 20 improvement in the fracture surface work is possible with many neat epoxies, with neat polyesters the same rubber concentrations produce factors of 5-10<sup>(5)</sup>. Despite this difference, however, the idea has been shown meritorious in raising the Gardner impact resistance of S.M.C. compounds where the criterion of failure is taken as the first appearance of surface cracks under the falling weight action: 3-5 fold improvements in mean break energy have been demonstrated (6). Similarly encouraging have been acoustical emission data from S.M.C. bending samples, where the presence of the rubber greatly reduces the number of detected events per unit deformation of the sample<sup>(2)</sup>. (Some of this reduction may derive from the damping action of the rubber but visual crack counts do show a significant lowering of surface damage.) The purpose of the work reported here was to examine the tensile fatigue behavior of various representative S.M.C. formulations, some containing added liquid rubbers, others unmodified, to see if any significant differences could be observed.

#### MATERIALS AND PROCEDURES

All of the samples came from plates molded and cured to the same size: 12x12x1/8 inch. After being mixed, the material was formulated on a laboratory version of an S.M.C. machine, then it was molded in a press, to stops, and cured at 150°C. The ingredients in each of the formulations studied are shown in Table 1; the control mixes are 4A, 4B and 4C.

The tensile specimen used is shown in Figure 1. These were machined from the molded plates, care being taken to ensure that all the cut edges and surfaces were smooth and free of visible defects. In so far as possible, the specimens were taken from the interior areas of the plates, away from the periphery where variations in composition and orientation are more likely.

All of the room temperature tests were done at 6.50 Hz on an Instron Model 1331 or 1211 Testing Machine. The sinusoidal tensile load varied between minima and maxima in the ratio of 0.10, thus always the specimen was under some tension. Each specimen was tested to complete fracture and the number of cycles to cause such was noted. In the case of the single cycle loading to establish the "static strength" of a specimen, the imposed deformation rate was the same as that used in the multiple cycles tests; both glass and resin are viscoelastic materials and a difference here in rates can introduce serious errors in the observed data.

A series of flexural fatigue tests were also run on samples from Compositions 4A and 4F. These specimens were 1/8 inch thick, 1 1/2 inches wide and simply supported over a 2.4 inch span. The load was applied sinusoidally at the quarter points, at a frequency of 1-2 Hz., with a minimum-to-maximum ratio of 0.10 in a simple flexure fashion; the bending was not reversed, so outermost fibers experienced only tension or compression. (This procedure was used because of its experimental simplicity.) The purpose of the flexural tests was to see if they corroborated the tensile ones with respect to the ranking of the materials examined.

## RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 presents the results of the tensile fatigue tests, in the three categories defined by the three control compositions. In every case save one (161 H), the rubber modified compositions showed some improvement in fatigue resistance, up to  $10^6$  cycles. In certain instances, the differences are not great but those which can be noted from Figure 2 are believed to be real since the data points establishing each curve generally do not exhibit great scatter. This can be seen from Figure 3, in which each point represents the results from a single test specimen. This is representative of the compositions studied.

The fatigue curve for each composition, established by least squares fitting, is of the form:  $\sigma = A \log N + B$  and the values of A and B are collected in Table 2. This relationship is found to be appropriate for many different kinds of fiber reinforced plastics composites, whether woven or non-woven, to the degree that it seems to be generic for such materials.

The flexural fatigue data are presented in Figures 4 and 5. The rubber modified composition, 4F, is absolutely superior to the control, up to  $10^6$  cycles (Figure 4), but on a normalized basis the ranking is inverted (Figure 5). The presence of the rubber produces a higher single cycle strength, then the curve declines at a greater rate, the two crossing at about  $10^5 - 10^6$  cycles, after which any differences become negligible. The flexural behavior is consistent with that observed in tension, so the former does corroborate the latter.

Reviewing the information in Figures 2 and 4, there is little doubt that the fatigue resistance of the SMC compositions studied is improved by the presence of the rubbers. This is consistent with the acoustical emission behavior and with the increase in Gardner impact: the rubber inhibits cracking. The effects of the inhibition are especially evident on the values of single cycle tensile strength which are raised substantially in most cases: if the initiation and growth of cracks are delayed, the specimen can sustain a higher net load before failing completely.

In another rather comprehensive study reported elsewhere<sup>(6)</sup>, many of the parameters affecting the Gardner Impact strength were examined. As might be expected the glass content was of great importance but here, too, various reactive liquid rubbers added to the S.M.C. mixture measurably reduced the cracking under impact. These data are shown in Table 3 from which it can be seen that a 5 fold improvement derives from 8% of HTE -3 rubber. Apparently this is paralleled by service experience, where it has been found that such additions greatly reduce damage from handling, both after molding and in assembly operations.

In all of the work discussed to this point, the liquid rubber simply was added to the mixed compound and, after curing, usually it could be identified as a distinct, separate phase in the material. Recently, analytical work suggested that a more efficient toughening action could be obtained from the rubber if it were present as a thin film on each calcium carbonate filler particle, in contrast to the earlier practice<sup>(7)</sup>. This has been attempted: a coupling agent was deposited on the surface of the filler, then the rubber was added so as to promote reactions with the agent. Film thicknesses of the order of 700-1000 Angstroms are postulated, assuming uniform distribution of the rubber. The resistance to crack propagation of the material measured by the double cantilever beam method, increased by a factor of 3.5. When the same ingredients were used without attempting to film-coat the particles, the factor was 1.4, hence it is believed the idea has merit<sup>(8)</sup>. It is being pursued.

## CONCLUSIONS

The data show that improved resistance to tensile fatigue, up to  $10^6$  cycles, can be obtained by adding small amounts of liquid rubbers to polyester-based S.M.C. formulations. The HTE elastomer is more effective than VTBX, at equal concentrations; the reasons for this are not known. With both, reductions in internal cracking of the matrix under cyclic loading appear to be responsible for the improved fatigue resistance. The same action appears to produce higher single-cycle strengths.

The Gardner Impact ratings of S.M.C. formulations also are improved by the use of rubber additives. Greater efficiency of the rubber toughening action may be achieved if each filler particle is coated with rubber, in contrast to simple mixture approaches.



#### REFERENCES

1. McGarry, F.J. and Willner, A.M., "Microcracking In Fibrous Glass Reinforced Resin Composites", Procs. 23rd Annual Conference., SPI Ref. Plas./Comps. Div., Washington, D.C. (Feb. 1968).
2. McGarry, F.J., Rowe, E.H. and Riew, C.K., "Improving The Crack Resistance Of Bulk Molding Compounds And Sheet Molding Compounds", Pol. Eng. & Sci., Vol. 8, No. 2, pp. 78-87 (Feb. 1978).
3. McGarry, F.J., "Resin Cracking In Composites", The Chemical Engineer, Institute of Chem. Engineers, Vol. 42, No. 8, London (Oct. 1964).
4. McGarry, F.J., Procs. Royal Soc. London, A, 319, pp. 59-68 (1970).
5. Tetlow, P.D., Mandell, J.F. and McGarry, F.J., "Effects of Rubber Additions On The Fracture Toughness Of A Polyester Resin", Proc. 34th Annual Conference, SPI Ref. Plas./Comps. Div., Paper 23-G, New Orleans (January 1979).
6. Gracewski, A.S., Mandell, J.F., and McGarry, F.J., "Factors Affecting The Impact Resistance Of SMC Materials", Proc. 34th Annual Conference, SPI Ref. Plas./Comps. Div., Paper 23-D, New Orleans (January 1979).
7. Rico, T., Pavan, A. and Danusso, F., "Micromechanical Analysis Of A Model For Particulate Composite Materials With Composite Particles-Survey Of Craze Initiation", Pol. Eng. & Sci., Vol. 18, No. 10, pp. 774-780, (1978).
8. Kanarek, J., S.M. Thesis, Department of Chemical Engineering, Massachusetts Institute of Technology, (Jan. 1980).

TABLE 1

## COMPOSITIONS OF SMC FORMULATIONS

	<u>4-A</u>	<u>4-B</u>	<u>4-C</u>	<u>4-E</u>	<u>4-F</u>	<u>4-J</u>	<u>4-K</u>	<u>4-N</u>	<u>4-O</u>	<u>161-E</u>	<u>161-H</u>	<u>161-I</u>
PPG 13031*	65	---	---	65	65	---	---	---	---	65	---	65
P-340 (R&H)*	---	60	60	---	---	60	60	60	60	---	60	---
LP-40A**	35	40	---	35	35	40	40	---	---	35	---	35
P-701**	---	---	40	---	---	---	---	40	40	---	40	---
2216X1***	---	---	---	---	8	8	---	8	---	---	---	---
2216X2***	---	---	---	---	---	---	8	---	8	---	---	---
Zn Stearate	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Camelwhite	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
t-BP	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
t-B0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
VTBNX (27)***	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8	8
VTBNX (28)***	---	---	---	---	---	---	---	---	---	8	---	---
Glass	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
1300X24***	---	---	---	8	---	---	---	---	---	---	---	---

\*Polyester Resin

\*\* Low Profile Additive

\*\*\*Liquid Rubber

TABLE 2

Values of Parameters A &amp; B in Equation

$$\sigma = A \log N + B$$

<u>Composition</u>	<u>A</u>	<u>B</u>
4-A	-0.82	10.22
4-E	-1.15	12.13
4-F	-1.32	13.18
161-E	-1.11	11.59
161-I	-1.35	13.00
4-B	-1.40	12.03
4-J	-1.87	14.68
4-K	-1.70	13.84
4-C	-0.61	7.67
4-N	-1.42	12.89
4-O	-1.57	13.94
161-H	-0.54	6.58

Table 3  
S.M.C. PROPERTY CHANGES BY COMPOSITION MODIFICATIONS  
(Factors Indicate Magnitude of Property Change; Arrows Direction)

	#1 Gardner MBE	#2 Gardner MBE	Notched Izod	Unnotched Izod	Flexural Strength	Flexural Modulus	Tensile Strength
Addition of 4% HTE-3	↑ 2.35	↑ 3.00	↓ .82	↓ .83	↓ .91	↓ .84	no change
Addition of 8% HTE-3	↑ 4.91	↑ 4.70	↓ .95	↑ 1.13	↓ .83	↓ .68	↑ 1.06
Addition of 4% HTE-2	↑ 1.83	↑ 2.10	↓ .74	↓ .93	↓ .95	↓ .84	↓ .91
Addition of 8% HTE-2	↑ 2.48	↑ 3.00	↓ .85	no change	↓ .84	↓ .73	↓ .95
Cloth Re- inforcement	↑ 2.23	↑ 2.57	↓ .85	↓ .89	↓ .79	↓ .88	not tested

Table 3 (Continued)

	#1 Gardner MBE	#2 Gardner MBE	Notched Izod	Unnotched Izod	Flexural Strength	Flexural Modulus	Tensile Strength
Addition of Mylar Sheet (33% removed by perfora- tions)	↑ 2.40	↑ 2.34	↑ 1.02	↑ 1.32	↓ .83	↓ .88	not tested
Addition of Mylar Sheet (10% removed by perfora- tions)	↑ 2.17	↑ 2.18	no change	↑ 1.06	↓ .93	↓ .98	not tested
Addition of Surface bonded TEDLAR	no change	no change	not tested	not tested	not tested	not tested	not tested
Addition of Carbon Black	incon- clusive	incon- clusive	↓ .89	↓ .86	not tested	not tested	↓ .45

Table 3 (Continued)

	#1 Gardner MBE	#2 Gardner MBE	Notched Izod	Unnotched Izod	Flexural Strength	Flexural Strength	Tensile Strength
Deletion of 25% Normal Amount of CaCO <sub>3</sub> Filler	no change	no change	↓ .70	↓ .75	↓ .54	↓ .66	↓ .65
Addition of 5% P-13	↑ 1.30	↑ 1.37	no change	↓ .89	↑ 1.15	no change	↑ 1.05
Addition of 10% P-13	↑ 2.19	↑ 2.53	no change	↓ .82	↓ .89	↓ .81	↓ .83
Addition of 15% P-13	↑ 1.94	↑ 2.08	↓ .71	↓ .75	↓ .92	↓ .77	↓ .76
Addition of 20% P-13	↑ 3.50	↑ 3.42	↓ .89	↓ .80	↓ .80	↓ .56	↓ .95

Table 3 (Continued)

	#1 Gardner MBE	#2 Gardner MBE	Notched Izod	Unnotched Izod	Flexural Strength	Flexural Strength	Tensile Strength
Addition of 25% P-13	↑ 5.90	↑ 6.15	↑ 1.06	↑ 1.03	↓ .87	↓ .61	↓ .58
Addition of 4% VTBX	↑ 1.46	↑ 1.41	↓ .89	↓ .94	↓ .77	↓ .85	↓ .78
Addition of 8% VTBX	↑ 1.70	↑ 1.57	↓ .78	↓ .94	↓ .81	↓ .76	↓ .81
Addition of 8% VTBX (B. F. Goodrich Provided SMC)	↑ 1.74	↑ 1.90	↑ 1.55	↑ 1.38	↓ .89	↓ .79	not tested

Table 3 (Continued)

	#1 Gardner MBE	#2 Gardner MBE	Notched Izod	Unnotched Izod	Flexural Strength	Flexural Strength	Tensile Strength
Addition of 2.6% HTE 3.3% P-13	↑ 1.74	↑ 2.00	↓ .93	↓ .90	↓ .97	↓ .92	↑ 1.06
Addition of 6.3% HTE 7.9% P-13	↑ 2.19	↑ 2.57	↓ .78	↓ .85	↓ .77	↓ .78	↓ .98
Addition of 12% HTE 15% P-13	↑ 2.77	↑ 3.24	↓ .78	↓ .91	↓ .80	↓ .64	↓ .92



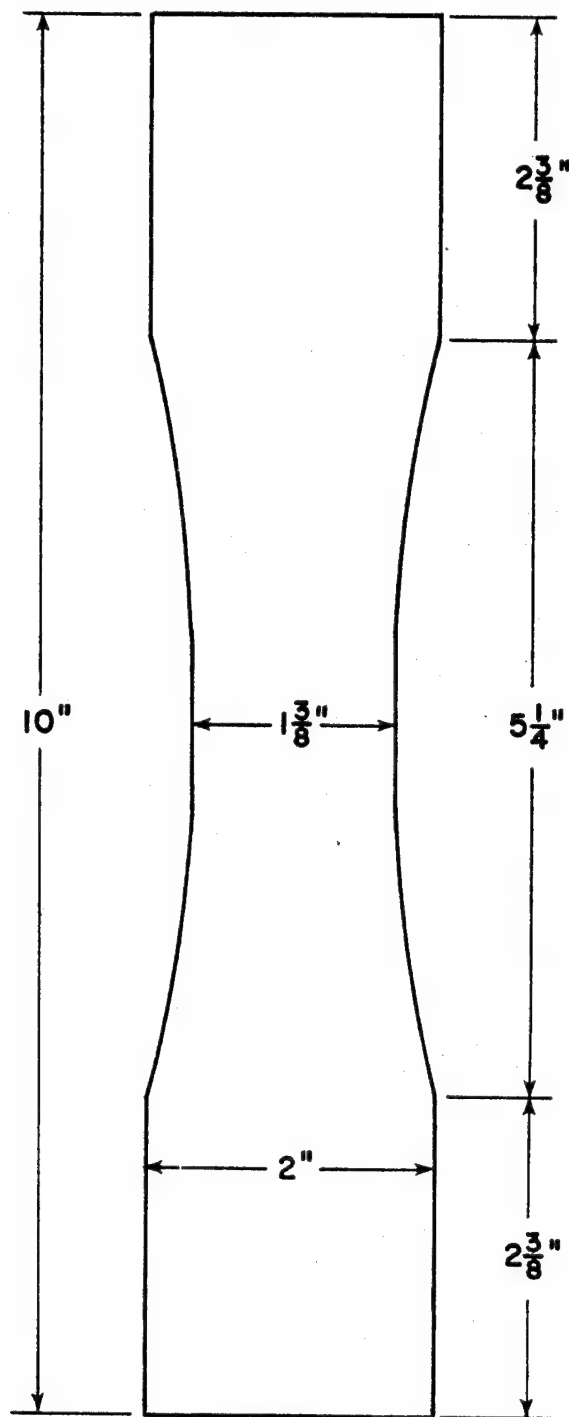


FIGURE 1.  
TENSILE FATIGUE SPECIMEN.

# RUBBER CONTENTS

4A - 0%	4B - 0%	4C - 0%
4E - 8% 1300x24	4J - 8% 2216x1	4N - 8% 2216x1
4F - 8% 2216x1	4K - 8% 2216x2	4O - 8% 2216x2
161E - 8% VTBNX(28)		161H - 8% VTBNX(27)
161I - 8% VTBNX(27)		

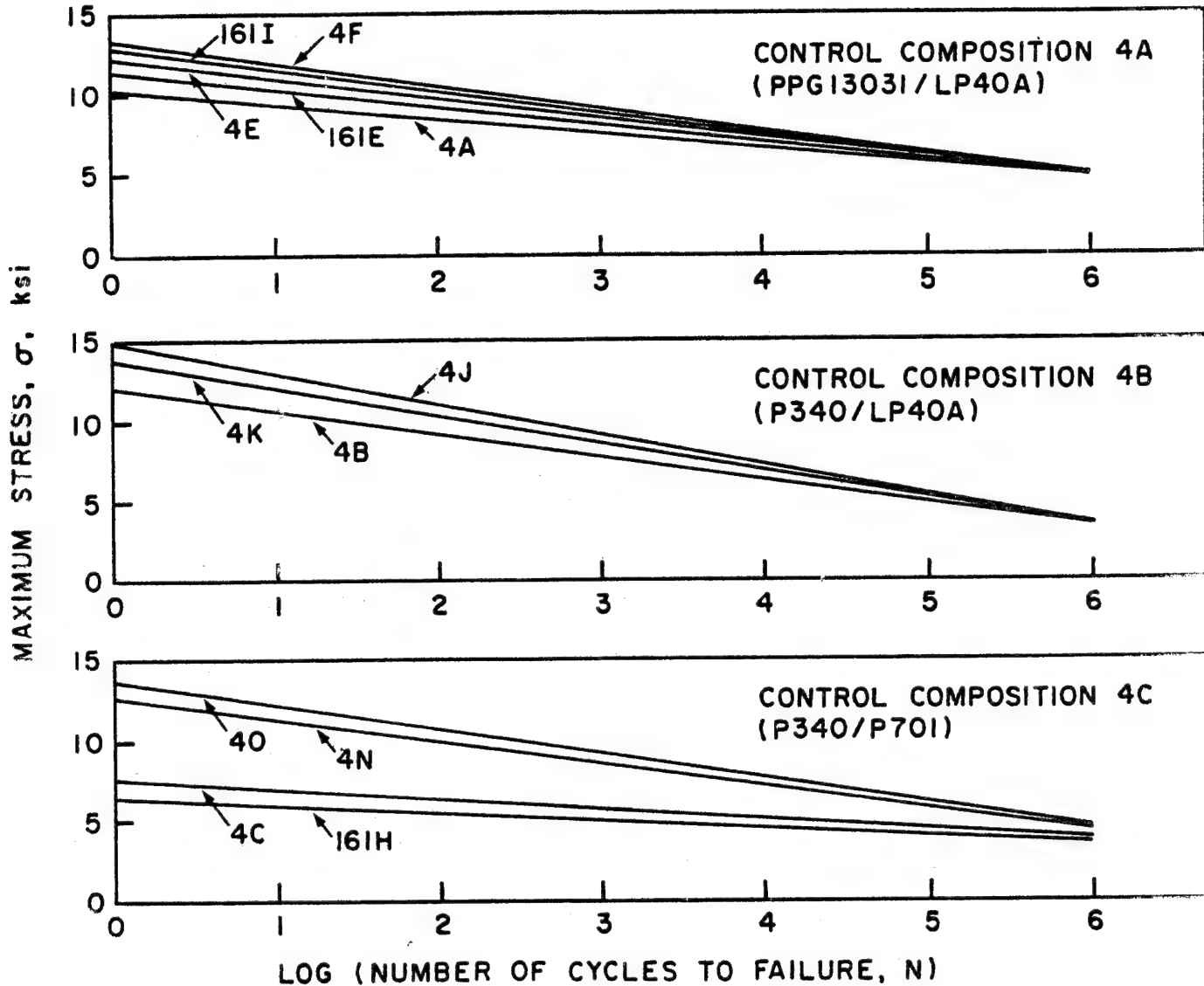


FIGURE 2.

S-N CURVES FOR MODIFIED CONTROL COMPOSITIONS OF SMC.

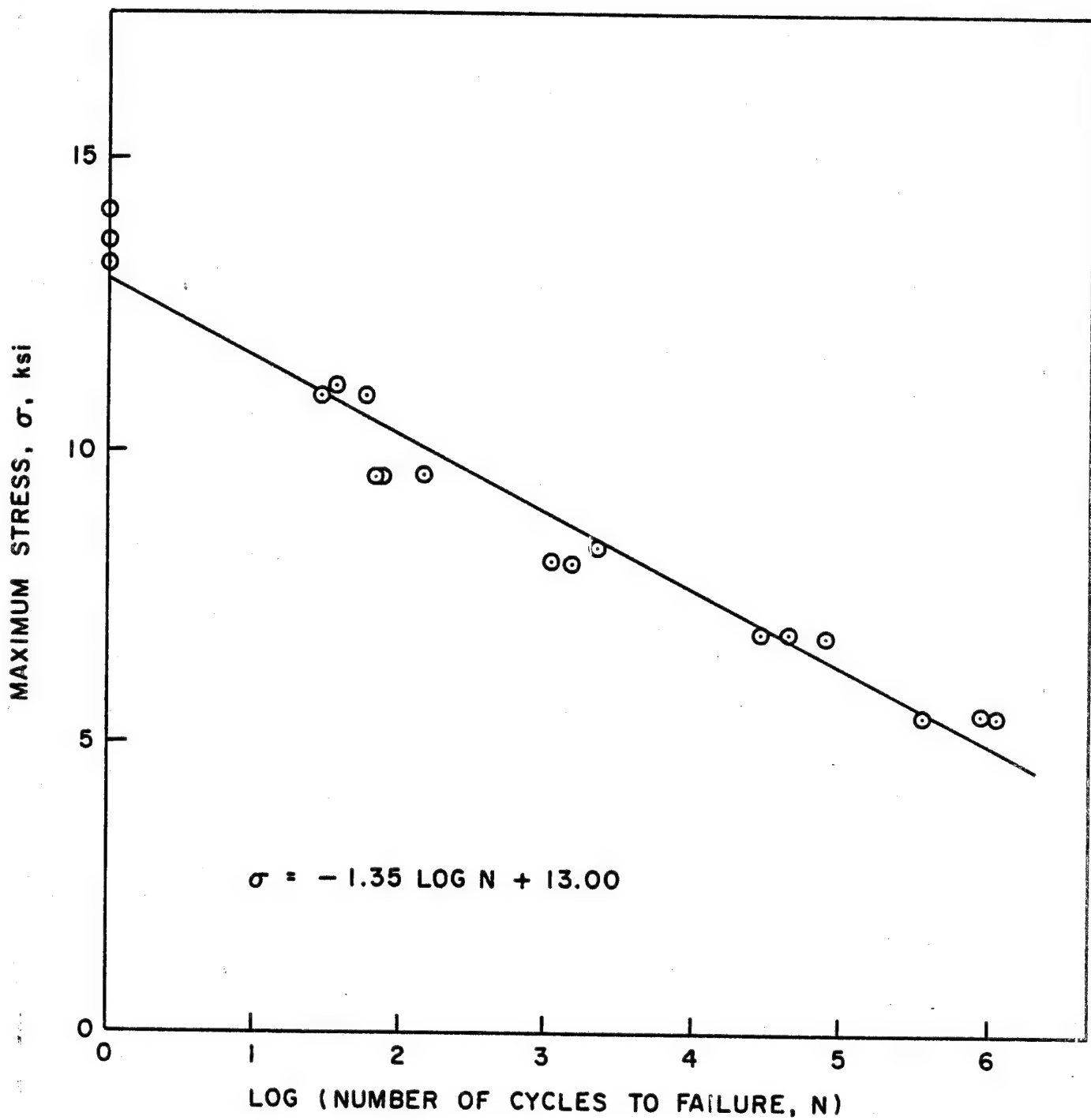


FIGURE 3.

S-N CURVE FOR SMC COMPOSITION 161I.

R = 0.1, FREQUENCY = 6.5 Hz

[PPG13031/LP40A, 8% VTBNX(27)]

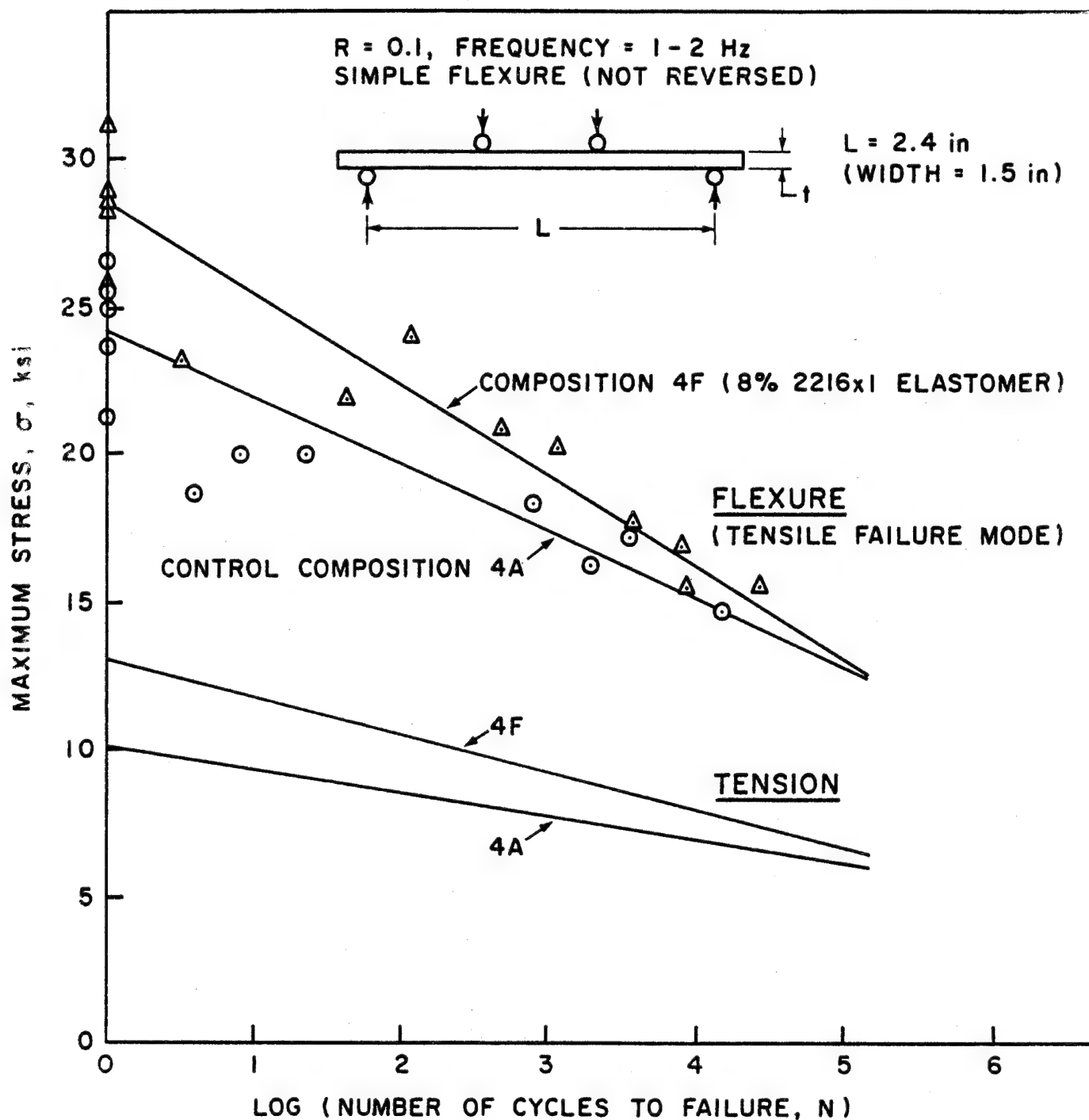


FIGURE 4.  
FLEXURAL FATIGUE OF CONTROL AND MODIFIED SMC;  
COMPARISON WITH TENSION RESULTS.

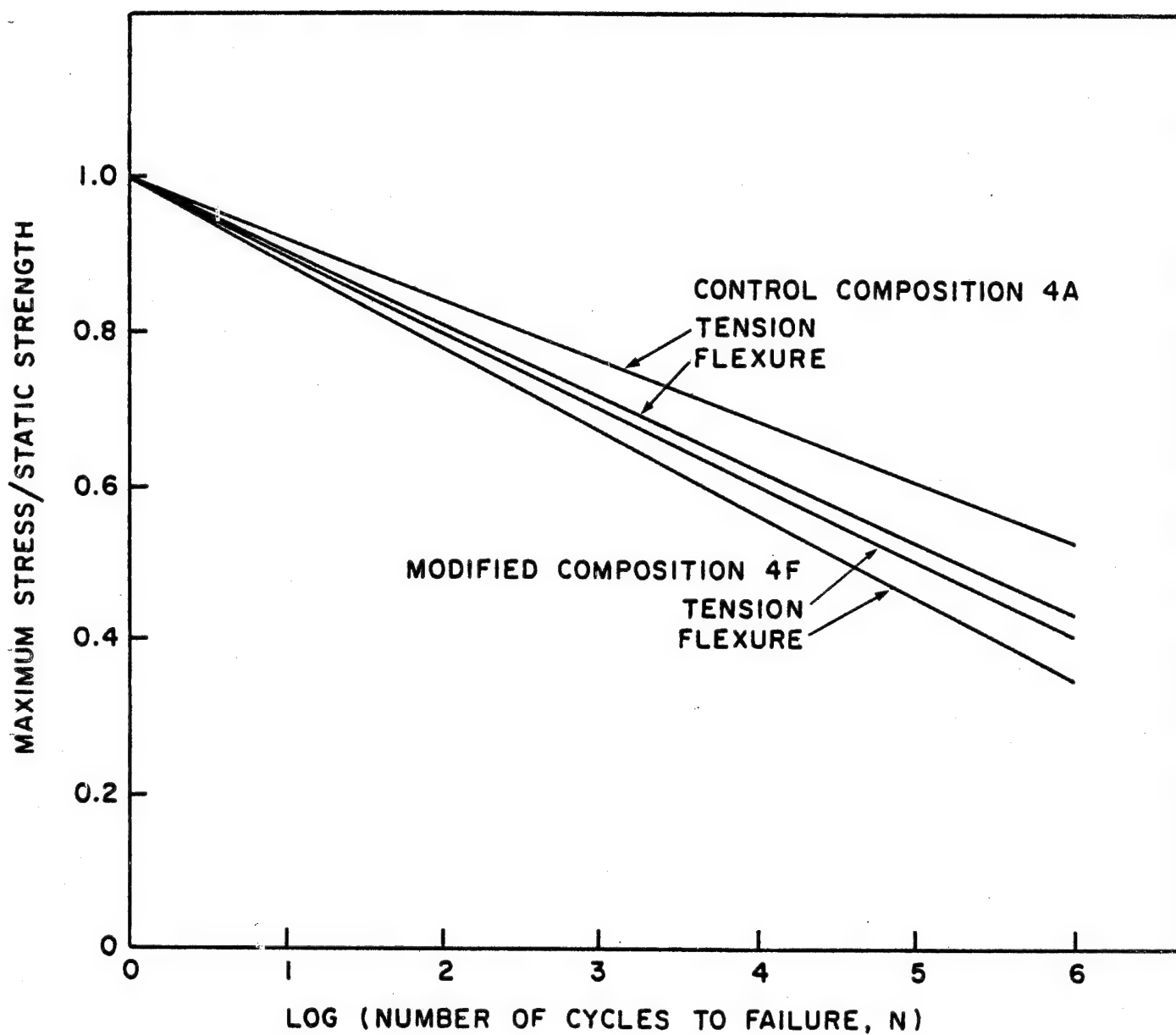


FIGURE 5.  
NORMALIZED RESULTS FOR TENSILE AND FLEXURAL FATIGUE  
OF SMC COMPOSITIONS 4A AND 4F.

THE ROLE OF REINFORCED COMPOSITE SYSTEMS IN LOWERING ENERGY  
INPUT IN CONSTRUCTION

Prof. Ing. Georges A. PATFOORT

Nationaal Hoger Instituut voor Bouwkunst & Stedebouw, Antwerpen, Belgium

Project Coordinator - UNIDO - Vienna, Austria

SUMMARY

UNIDO (United Nations Industrial Development Organisation) planned since 1975 an extensive program for the development world on low cost housing using less material, with low energy input and with integration of local materials. A survey of the results obtained by the "Patfoort Housing System" using fiber composites systems in the building sites of Cyprus, Uruguay, Upper-Volta, Ecuador and Mexico will be presented.

THE ROLE OF REINFORCED COMPOSITE SYSTEMS IN  
LOWERING ENERGY INPUT IN CONSTRUCTION

---

Georges A. P A T F O O R T

Professor Nationaal Hoger Instituut voor Bouwkunst & Stedebouw,  
Belgium - Antwerpen .

Project Coordinator UNIDO -Vienna .

ENERGY SAVING

One is usually not aware that every raw material requires an input of energy for its extraction , separation, purification, packaging , transport, stockage and marketing . Every consumer product is made from raw materials and each operation of manufacturing , publicity, selling, transport and even the maintenance and elimination , of the product entails a consumption of energy . The sum of the energy needed for each operation is the integrated energy input . To obtain the integrated energy input per time unit , one has to divide by the lifetime of the product. It is evident that energy saving can be realised in two ways : either by reducing the energy input or by increasing the life time .

It has been calculated that the integrated input for a normal motorcar is nearly 5-6 times the total equivalent quantity of petrol that the car will consume during the whole period of its use without even considering the social costs and the transport infrastructure . So , here is an indication of the kind of topics we have to focus our attention on , in an energy saving programme .

It becomes evident that each human activity and each consumer product uses up a lot of energy . Different events have given rise to alarm and have demonstrated that difficulties are imminent in the supply of energy . Authoritative opinions give warning that serious problems will arise before the end of the century and perhaps quite soon , if the political climate is unfavourable . We have to look out for energy saving methods as long we have not found a substitute for oil in the form of a source of renewable energy . Unfortunately , the moment when majority of the inhabitants of the planet could taken part in Western welfare coincides with a period of shortage of energy and raw materials . The laws of the Western economic system appear to lack the flexibility to escape from the dilemma . We must look for a technological solution .

Since 1971 United Nations Industrial Development Organization - UNIDO - was looking for solutions . As a typical example of a product with high energy input , housing was considered . The construction of the 370,000,000 dwellings that have to be built for the next 10 years using traditional building methods would significate an ecological suicide . So , it was decided to develop a "low energy housing system " that could function as an example for lowering energy in other production systems.

## COMPOSITE SYSTEMS

Composite materials are developed from components on the basic assumption that the properties of the whole are different from and represent more than the sum of the properties of the components . The composite has one more important property : the relations between the components are more important than their intrinsic properties in determining the nature of the whole . The composite acquires a certain degree of independence from its componets . A component having similar relations with the others , may act as a substitute for the original in spite of its being different . An example may illustrate this : an insulating material is composed of a binder , for e.g. a polymeric matrix and air inclusions . The composite has insulating properties that cannot possibly be obtained from the separate components . Moreover , it is possible to substitute PS by PU or any other polymer foam in the matrix . In the same way it could be possible to replace the air by any other inert gas, without changing very much the insulating properties of the whole . We can apply the same reasoning to a fibre reinforced poliester .

The raw materials used in construction have been limited to some restrictive classes : metals, ceramics, glasses and polymers . Composite materials allows to escape from the traditional dependency : materials  $\longleftrightarrow$  properties . The choice of materials in composite systems has increased their technological and intellectual potentialities hundred of times.

## HOUSE CONSTRUCTION

From 1975 on , UNIDO planned a housing programme for developing countries using composite materials . The construction had to meet following requirements : low cost , minimum transport , locally constructed , low energy and material input, high construction speed , use of non skilled labour , integration of locally available materials . Demonstration projects were carried out in Cyprus, Uruguay, Ecuador , Upper-Volta and Mexico , introducing each time new technical and architectural variables related with mechanical strength , sandwich construction , natural fibre reinforcement etc.

Considering the requirements , an appropriate and simplified system of filament winding came out as the adequate method to construct the insulated spaces of air needed for the building of dwellings . The wounded shells have been manufactured locally on a retractable rotational mould, supported by an ax, driven by hand by means of a cranck and a reduction device . The



fibres pass in a resin bath , laterally moving along the rotational mould, distributing the wet reinforcement on the mould. The resin bath is a wooden support with a through-away PE bag , containing the resin . The excess of resin is pressed out by adjustable rubber strips that permit at the same time to adjust tension on the fibers .

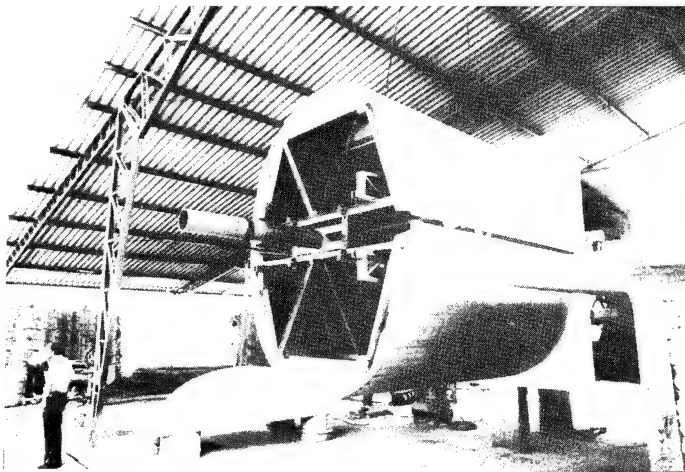
#### STRUCTURAL BEHAVIOUR

The structure is strenghtened at both ends by two flanges . They have a dual purpose . They are usefull in bolting endwalls for one module to another . Structurally they act as a diafrgm rigidifying the cilindric shape . Beam action in the longitudinal direction is neglectable , because the module does not span between the flanges but is resting and sustained over its whole lenght in a bed of sand or stones . In that sence strenght and rigidity is only required during transport .

On the contrary , the membrane action , typical in shell structures transmit loads axially . The strongest cross-section- al shape in this respect is a circle . The greater the deviation from the circle the lesser the structural strenght the better space requirements . The flanges act in this respect as strenghtening elements . Quantity and design of the strenghtening elements is adaptable . On that way it was possible to obtain a fantastic increase in rigidity and to eliminate any sagging after removal from the mould

If desirable , it is possible to obtain even rectangular shapes, using of course more material to obtain the same strenght .

Beam action can also be observed in each segment of the curved shell. The stresses could be accomodated by sandwich construction , the strenght depending on the reinforced layers of the sandwich structure and its thickness determining the moment of inertia . The bond of the foam core to the two exterior layers , is the most critical factor affecting the strenght of the whole structure . Taking into account local circumstances such as nature and quality of the foam layer and the lack of equipment to maintain and control the quality of the adhesion, it was advisable not to rely upon the properties of the sandwich construction to obtain the necessary stiffness and strenght Reinforcing flanges and ribs made it possible not to be dependent on the sandwich structure and allow to build single wall shells when insulating foam is not justified .

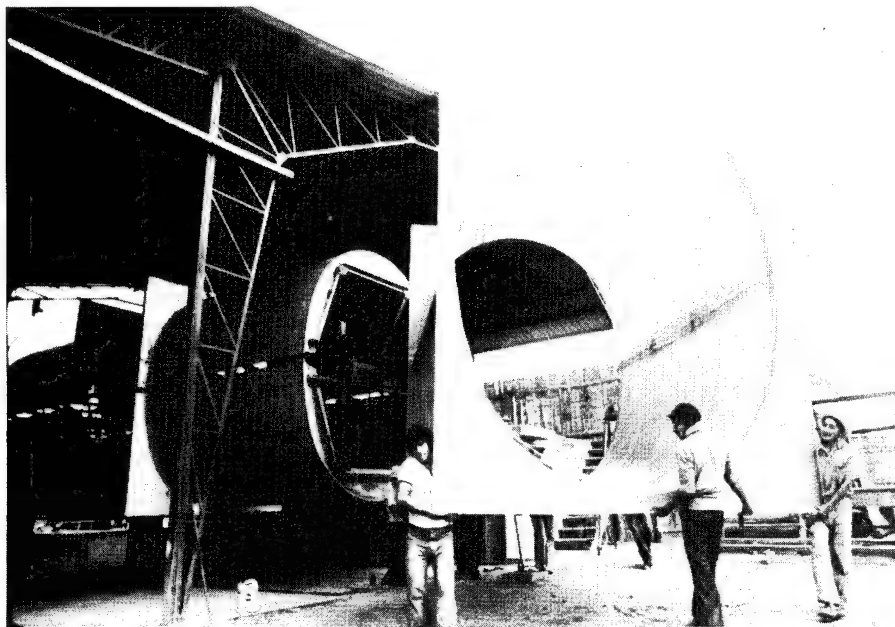


Photograph 1 :  
Retractable mould and  
filament winding unit  
from the Ecuador plant.

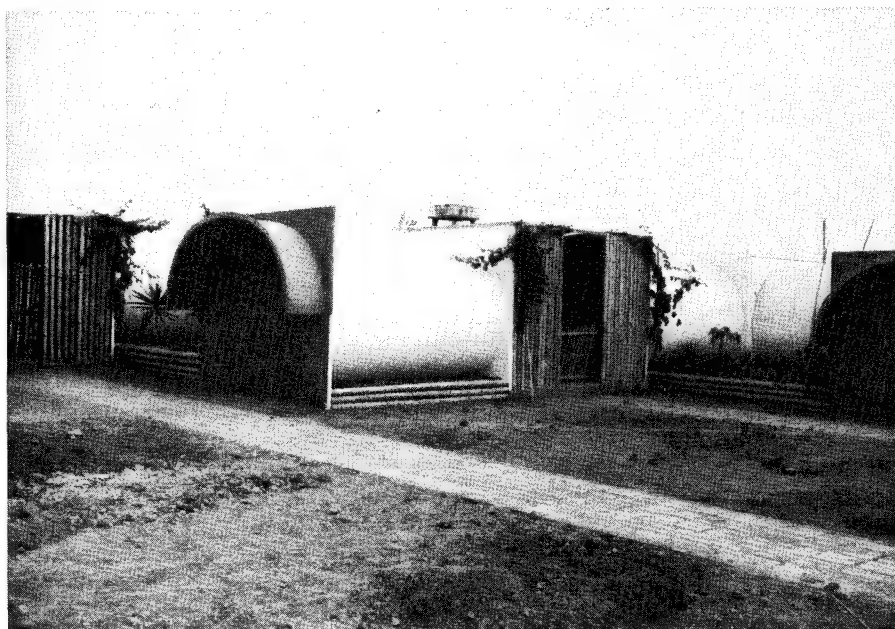
## CONCLUSIONS

Practical results may be summarized as follows :

- a housing module can be built adjusting size, shape and proportions to any architectural design or environmental requirement
- closing panels & endwalls without strenght demands can be adapted to available local materials and local architecture .
- machine and mould are of a simple design and of low investment.
- machine and mould are dismontable and transportable to different building sites . This operation is cost, time and energy saving in comparison with transport of heavy prefabricated parts.
- No foundations are required . It is logical to consider the structure as a floating unit, and to put sheep ballast between floor and shell as in a ship ! So, no soil deterioration .
- this ballast is part of the thermal inertia of the module .
- the construction is easely adapted to any climatic condition.
- the construction is possible without water and energy supply.
- the same technology is suitable to construct self supporting roofs, silos, reservoirs, containers, sewagework, large diameter pipes etc.
- the curved surface obtained most easely by filament winding is at the same time the form that uses least material an energy and offers the highest mechanical strenght and the largest living space . It is ergonomically best adapted to human beings and suited to adjust itself to human and social requirements. It is thermally attractive , because it offers a larger volume in relation with the surface exposed to the outside climate.
- it has been proved that unskilled people can handle the technology and build for themselves after a training period of no more than two months . Experiences have been performed in the open air, in windy regions and tropical climates and even with differences in temperature of 20°C in a few hours time .
- strenght experiments proves that self-supporting storeyed houses can be constructed .
- synthetic polymeric materials , in spite of the fact that they are oil derivates are energy saving when the integrated energy input is considered . Furthermore , present experiments gives the prove that composite technology opens a new way to change drastically the usual way of wasting energy and raw materials and to escape the dilemma between production and scarcity .
- only the structural shell necessitates high performance material . Sidewalls, partitions, ballast and even parts of the shell can follow the composite principle and accept the combination with renewable materials or rural, industrial and even urban wastes.
- Present results indicates :
  - A weight input in relation to European construction 1/100
  - in relation to local brick construction 1/50
  - an energetic input in relation to Europe 1/20
  - in relation to local construction 1/10
  - Speed of construction including equipment of the house:  
120 m<sup>2</sup> = 300/ men hours .
  - Price : 1/2 of local low cost housing .
- There is good reason to believe that the energy input and the price can still be lowered substancially thanks to the new composite formulations .



Photograph 2 : Shell structure removed from mould  
15 m<sup>2</sup> habitability, 250 kg.



Photograph 3 : Example of housing unit in Huaquillas -  
Ecuador.

## DESIGNING ECONOMICALLY WITH GLASS FIBRE REINFORCED PLASTICS

Ing. A.P. OOSTEN,

Adviesbureau Arnhem, Arnhem, The Netherlands

### SUMMARY

Calculation techniques according to various international codes. Layer and continuum theory, specific attention being given to the combination of safety and mechanical characteristics. Quality assurance in connection with design and economic use of material.

## QUALITY ASSURANCE OF GLASS FIBRE REINFORCED PLASTICS

Ir. B.J. van STEIJN

Adviesbureau BAK - Nederland, Schiedam, The Netherlands

### SUMMARY

We deal here with specific starting points for specific utilisations in the process industry, processing and manufacture on the basis of unequivocal specifications and prescriptions. We deal with the quality handbook, the framework specifications and the organisation of efficient quality assurance.

## DESIGNING ECONOMICALLY WITH GLASS FIBRE REINFORCED PLASTICS.

By: A.P. Oosten (ing.)

Heidemy, Adviesbureau Arnhem, Arnhem, the Netherlands.

The aim of designing a construction is to just satisfy all the requirements for strength and rigidity with a minimum of material waste. Hence, with constructing economically is meant utilizing materials as economically as possible, which will have its effect on the total costs of the finished product. Of course constructing economically constitutes only one of the cost-determining aspects. The functionality of the design, its manufacture, quality control, etc., all are factors that have an effect on it. In this paper we will limit ourselves to the structural aspects of strength, rigidity, and safety.

Also for making design calculations for glass fibre reinforced plastics the classical theory of strength of materials will be of good use, however with respect to steel we must be careful in its application. Just the same, in recent years so many publications, treating this subject, have appeared, that presently the points of departure for making GVK-construction design calculations may be assumed to be sufficiently known. There is however a lack of official guidelines. This limits to a great extent "design economics", certainly within Benelux countries.

The present design standards applicable to steel - and concrete constructions appear to facilitate the application of new materials. Yet until now, a connecting link to glass fibre reinforced plastics seems, if at all, hardly to exist. The result is a play-very-safe attitude which not only leads to less economical designs, but also fails to encourage a sound quality control for manufacturing. As mentioned above, the principles of well established design calculation methods can to a certain extent be applied to glass fibre reinforced plastics. The most important differences with steel are:

- the glass fibre reinforcement is not an isotropic material
- the glass fibres are embedded in a resinous compound; the glass fibres supply the tensile strength and the resin maintains the glass fibre connections as well as their distance apart and as such takes care of the rigidity of the structure.

Consequently the use of stress values, as is usual with steel, is placed in an entirely different perspective. This now involves no more than applying an arithmetic quantity derived from the glass-resin ratio. The tensile - and compressive strength values can also be different. To facilitate calculations several theories have been constructed. The two most important theories are:

- the theory of continuity (continuum theory)

Here the reinforcement and the resin together are awarded one tension value. Hence the theory is only of value when no cracks appear in the resin. This method is described in the interim German AD - Merkblatt N1. The structure is dimensioned in such a way that no deformations will result that could impair the resin.

- the "layer theory"

Here one takes into account the added strength of each layer of glass fibre reinforcement separately by sufficient impregnation with resin. This is a simple and realistic theory for calculating pressure vessels and pipes. This method is used in the British Standard "BS 4994".

The latter theory arrives at the required tensile strength by starting with the reinforcement and by choosing a diameter for the glass fibre of the tangential reinforcement that is twice the diameter of the axial glass fibre reinforcement. This reinforcement must again be sufficiently embedded in a layer of resinous compound.

The tensile strength of the various glass reinforcements, determined in laboratories, is registered in the BS 4994.

The related safety factor prescribed is:

where

$$K = 3 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5$$

$k_1$  = factor relating to method of manufacture  
 $k_2$  = factor relating to long term behaviour  
 $k_3$  = factor relating to temperature  
 $k_4$  = factor relating to cyclic loading  
 $k_5$  = factor relating to curing procedure  
 $K$  = overall design factor.

Although as indicated, an attempt is made to introduce a safety coefficient based on certain manufacturing methods and related future operating conditions, the structural designer still does not have at his or her disposal the means to make calculation allowances for good quality control.

Going back to the theory of continuity, in AD - Merkblatt N1, in various equations we keep finding what is held to be the allowable stress:  $K/SG$ , where

$K$  = tensile strength in  $\text{kgf/cm}^2$  (maintaining the indicated dimensions) of the laminate, meaning the glass fibre reinforced resinous compound as a whole;  
 $S$  = is a safety factor attributed to the resistance to tensile strain, the value of which is 2,7;  
 $G$  = the material factor and is equal to the product of  $G_1 \times G_2 \times G_3 \times G_4$  ( to a max. of 3,7).

Usually for the product  $SG$  a value is taken, where 6 is a minimum and 10 a maximum depending on Zeitstandsverhalten, Einfluss auf die Alterung, Anisotropie und Inhomogenitäten.

Because there are many ways to reinforce, there is also a great range of tensile strengths, which may or may not be mentioned in the literature devoted to this subject. Even more so than with the "layer theory" the lack of a direct connection with the strength of the laminate which is to be applied becomes evident. Moreover requirements set by the authorities tend to become more demanding, certainly where it concerns applications to stockage, transport and/or processing dangerous materials. For safety sake one will have to calculate with a tensile strength value which will be lower than the lowest registered value produced by tension tests on test laminates. In addition the afore-mentioned safety coefficient will have to be applied as it stands, regardless of the fact whether or not quality control is executed. It is evident that as such no insight will be gained in the real safety margin. This applies to an even greater extend to structural shapes that are, compared to the cylinder jacket, more difficult. For instance in case of the so called "Klopperboden" the related coefficients for "Krempe" and "Kalotte" will have to be put in. For flanges to be made by hand it is still quite common to maintain an irregularity factor of 1,3.

By way of example, the calculations for a cylinder jacket:

-- inside diameter 1400 mm  
-- design pressure 3 atü  
-- the results of 12 tension tests are:

186  $\text{N/mm}^2$   
183 „  
176 „  
177 „  
203 „  
189 „  
179 „  
121 „  
158 „  
188 „  
184 „  
204 „

average value 179  $\text{N/mm}^2$   
minimum value 121 „

Calculations must be made with a value  $K = 120 \text{ N/mm}^2$

By applying the equation (2) out of AD - Merkblatt N1 a minimum wallthickness comes to

$$s = \frac{D_a \cdot p}{200 \cdot \frac{K}{SG}} = \frac{1400 \times 3}{200 \times 12 / 6} = 10,5 \text{ mm} \quad (\text{where } SG = 6)$$

This means e.g. 

6 layers of matting	450 gr/m <sup>2</sup>	)
6 layers of fabric	800 „	)

 $s = 6 \times (0,6 + 1,2) = 10,8 \text{ mm}.$

Should it be permitted to process the results of the tension tests statistically, which must be stated explicitly in the specifications, and should in addition the arithmetic value to be applied be the 5% value for tensile strength (with the normal distribution according to Gauss) the thickness would then amount to:

-- standard deviation 21,9 N/mm<sup>2</sup>

-- arithmetic value tensile strength =  $179 - 1,645 \times 21,9 = 143 \text{ N/mm}^2$

-- minimum wallthickness  $s = \frac{1400 \times 3}{200 \times 14,3/6} = 8,8 \text{ mm}$

-- application: 

5 layers of matting	459 gr/m <sup>2</sup>	)
5 layers of fabric	800 „	)

 $S = 5 \times (0,6 + 1,2) = \underline{\underline{9,0 \text{ mm}}}$

This results in a saving of one layer of matting and fabric and approx. 8 liter of material per m<sup>1</sup> cylinderjacket.

With the 5% value is meant a value for which the chance of it not being attained is <5%.

That all this requires sound quality control will be evident. The next speaker will expand on this subject.

## TITLE OF THE CONTRIBUTION

Quality Assurance of Glass Fibre  
Reinforced Plastics

## Author(s) name(s)

Ir. B.J. van Steijn  
B.A.K. Nederland B.V.  
Schiedam, The Netherlands

### Quality Assurance of Reinforced Plastics

The former speaker has indicated some economic aspects with regard to the design of reinforced plastics. I shall try to stress the importance of the Quality Assurance in this connection.

The main problem is the absence of practical guidelines or specifications which are accepted internationally.

The only thing a potential buyer of RP products wishes to know is, that the manufacturer will be able to meet his technical and financial requirements based on a timely delivery. He needs an unambiguous and practical specification as part of the purchase order.

Before any ordering takes place, the buyer should evaluate the Quality Assurance System of the manufacturer, which should give him a clear insight of the following activities:

- design
- purchasing (components/sub-contracting)
- fabrication
- transport
- storage
- testing

Before explaining, a specific Q.A. system for reinforced plastic fabrication I give you the next definitions:

### Quality Assurance

All activities and functions concerned with the attainment of quality.

### Quality Control

A system for programming and co-ordinating the efforts of various groups in an organization to maintain or improve quality, at an economical level which allows for buyer satisfaction.

You will read these definitions in "A guide to Quality Assurance", BS 4891.

The problems of quality control of RP are no more severe nor very different from those ordinary encountered in the metal trade.

Faults of various types may creep into weldments, castings or mechanical constructions as readily as into RP.

These faults are of course, overcome in these allied trades by correct training of the operator, on both theoretical and practical level, and by various tests and inspection procedures, which indicate the quality, strength and properties of the materials involved and of the construction being made.



TITLE OF THE CONTRIBUTION

Quality Assurance of Glass Fibre  
Reinforced Plastics

Author(s) name(s)

Ir. B.J. van Steijn  
B.A.K. Nederland B.V.  
Schiedam, The Netherlands

Equivalent training, testing, inspection, fit in a practical Quality Assurance system will demonstrate in a variety of RP products, whose reliability is at least as great as if the products had been made of metal or other "Classic" materials.

A Quality Assurance System based upon British Standard 5179 can be established with the following components or functions.

- Organisation.

A clear identification of effective management for quality.  
Periodical review of q.a. system.

- Planning.

A system for conducting , at the earliest stage of any contract, a sufficiently extensive review of purchaser requirements to ensure during all phases

- Work instructions

Clear and precisely documented instructions shall be developed and maintained.

For instance:

Addition of initiators or catalyzers, handling of glasfiber etc.

- Design control

Also including a thorough analysis and an inventory of all possible loading and material influence, feeding back to the method of laminating at an early stage.

- Control of purchasing

Clean description of supplies and services.

Type, class, grades etc.

Receiving inspection (incoming goods of performed service)

- Manufacturing Control.

Fibreglass reinforcement

Resin system

Cure

Liners, welding

Dimensions

- Control of non-conforming products or service

TITLE OF THE CONTRIBUTION

Quality Assurance of Glass Fibre  
Reinforced Plastics

Author(s) name(s)

Ir. B.J.van Steijn  
B.A.K. Nederland B.V.  
Schiedam, The Netherlands

- Identification of inspection states.

A system shall be established and maintained for the inspection during all stages of manufacture, ensuring the ability to distinguish between inspected and uninspected products, by using some suitable identification such as stamps, tags, cards etc.

- Handling storage and delivery.

- Training

All personnel employed in the quality function, shall receive adequate training.

On this Quality Assurance System the external control and survey can efficiently be based. Further this will promote the reliability of R.P. products in combination with an economical and safe design.

Perhaps the question may rise how much the establishment and maintenance of a Q.A.system costs.

The answer is very simple.

The initial costs for the establishment of a Q.A. system, will be repaid on relative short notice as a consequence of a better communication (intern and extern), less rejection, more reliability and realistic design of reinforced plastic products.

LES GRANDES STRUCTURES HYDRAULIQUES FACE AUX RESINES ARMEES

LARGE HYDRAULIC STRUCTURES AND REINFORCED RESINS

Dr. Ir M. SANDER

Assistant à l'Université de Liège

Université de Liège, Belgium

RESUME

L'article proposé examine l'impact possible des résines armées dans les grandes structures hydrauliques telles que portes d'écluses, vannes mobiles, et même éléments de prébarrages, ou de bassins d'épuration. Des formes adaptées au matériau sont proposées et des résultats d'essais sont communiqués. En finale, l'intérêt économique de ces structures est discuté.

SUMMARY

The proposed article examines the possible impact of reinforced resins in large hydraulic structures such as lock gates, mobile sluices, and even elements of pre-barrages or filter basins. Forms adapted to the material are proposed, and the results of tests are communicated. Finally, the economic interest of these structures is discussed.

## LES GRANDES STRUCTURES HYDRAULIQUES FACE AUX RESINES ARMEES

Michel SANDER

Université de Liège, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Liège, Belgique

Les plastiques renforcés de fibres de verre sont à l'heure actuelle implantés dans de nombreux secteurs de la construction et ont prouvé qu'ils pouvaient offrir une solution très économique si l'on prend la peine d'examiner le coût des ouvrages d'un façon vraiment globale. Si on envisage plus particulièrement le domaine des constructions hydrauliques et maritimes, ce sont d'abord les tuyauteries de grand diamètre, ainsi que les citernes, qui constituent le succès le plus marquant. C'est surtout la fabrication à l'aide de la technique de l'enroulement filamentaire qui a contribué à rendre ces produits très économiques.

Des phares destinés à la signalisation maritime côtière ont également été réalisés et ont marqué un nouveau pas important vers des structures portantes entièrement réalisées en P.R.V. Enfin, la construction de bateaux de dimensions importantes, tels que des dragueurs de mines montre également que le P.R.V. est un matériau qui s'adapte bien aux problèmes posés par l'eau, et par l'environnement maritime en général.

Certains secteurs de la construction hydraulique restent cependant très liés aux matériaux traditionnels. C'est le cas en particulier des ouvrages de retenue: barrages fixes ou mobiles et portes d'écluse.

Le caractère traditionnel de la conception de ces ouvrages est dû sans aucun doute aux responsabilités énormes que les plus grands de ces ouvrages mettent en jeu: Seules peut être les centrales nucléaires dépassent les grands barrages sur le plan des risques engendrés par la structure.

Un second motif qui justifie une construction très traditionnelle est la longue durée de vie de tels ouvrages qui restent en service utile pendant au moins 100 ans.

Cependant il importe de bien séparer les grands barrages des ouvrages de retenue modestes qui sont de loin les plus courants.

Situons bien le problème en donnant quelques chiffres impressionnants qui vont montrer l'énorme différence entre les grands barrages et les ouvrages courants.

Le record de hauteur est actuellement détenu par le barrage d'Ingurskaia en U.R.S.S., avec pas moins de 308 mètres de hauteur. Le plus grand lac de retenue est par contre celui de Kariba, en Rhodésie, avec 145 milliards de m<sup>3</sup>, ce qui représente une couche d'environ 5 m d'eau sur toute la Belgique.

Quant au volume de matériaux employés dans la structure, il atteint 142 millions de m<sup>3</sup> à Tarbela, au Pakistan.

Il est bien clair que suite à leurs dimensions et épaisseurs énormes, ces très grands barrages ne peuvent être construits qu'en terre, enrochement ou béton.

Il existe cependant une multitude d'ouvrages de retenue, tout aus-

si utiles que les géants qui viennent d'être cités.

Si on s'intéresse aux ouvrages de moins de quinze mètres de retenue, on constate que les épaisseurs de béton descendent jusqu'à vingt centimètres dans certains barrages à voûtes multiples : c'est dire qu'on peut concevoir des coques en PRV offrant une résistance comparable.

Mais il semble d'abord utile de s'intéresser aux portes d'écluses qui sont en fait de petits barrages dont les dimensions sont souvent d'environ 15x15 m et qui ont une retenue très variable atteignant parfois 40 m.

Ce qui différencie donc fort les portes d'écluse des barrages, ce n'est pas la hauteur d'eau retenue, mais bien le volume de la retenue, qui est très faible dans une écluse. Par contre, la porte d'écluse est mobile et vu cette mobilité, le poids est un élément gênant. Le béton ne peut dès lors pas être utilisé, et actuellement, on réalise donc les portes d'écluse en acier. Le PRV peut dès lors être un concurrent redoutable, comme souvent lorsqu'il y a des problèmes de corrosion et que l'on désire réduire le poids.

"A matériau nouveau, formes nouvelles" : le vieux principe garde toute sa valeur aujourd'hui encore, et il est particulièrement d'application lors de l'étude de structures hydrauliques en PRV.

Soit d'abord le cas d'une porte d'écluse. La figure 1 montre le type de structure actuellement le plus courant : il s'agit d'un grillage de poutres fléchies supportant une tôle en bordage. Cette structure est adaptée aux besoins de l'acier qui se présente sous forme de profilés rectilignes et de toles ou plats.

Dans un cas courant, tel que celui de la porte aval de l'écluse de Lanaye on arrive à un poids d'acier d'environ 500 kg/m<sup>2</sup>, la hauteur étant de 17 m et la largeur de 15 m.

Si l'on envisage de reproduire une structure fléchie de ce type avec du PRV, le résultat est catastrophique car les contraintes admissibles sont beaucoup plus faibles que dans l'acier et le poids total est à peine réduit.

Si par contre, on se souvient que le PRV a une résistance particulièrement favorable en traction et que le moulage permet de réaliser des formes quelconques, il apparaît qu'il est possible de concevoir la structure comme une membrane tendue par la pression de l'eau. C'est ce que tente d'illustrer la figure 2.

La solution la plus élémentaire consiste à n'utiliser l'effet de membrane que dans une seule direction. Les formes souhaitées sont alors cylindriques ou conoïdales. Dans cette hypothèse, un prédimensionnement permet de dire que l'encadrement métallique indispensable pèsera environ 100 kg/m<sup>2</sup> et que la structure en PRV pèsera 80 kg/m<sup>2</sup>. Il faut donc comparer le prix d'une charpente métallique complexe pesant 400 kg/m<sup>2</sup> et celui d'une coque en PRV pesant 80 kg/m<sup>2</sup>.

Une solution plus évoluée consiste à utiliser l'effet de membrane dans deux dimensions, ce qui fournit une meilleure utilisation de la matière et donne une structure beaucoup plus rigide sous l'effet de sollicitations accidentelles. Les formes réellement membranaires sont par contre très difficiles à calculer et c'est ici que le problème devient plus scientifique. En collaboration et grâce à l'aide du C.R.I.F., un procédé de calcul numérique a permis de calculer par itérations, à l'aide d'un ordinateur, les formes de telles coques dans divers cas.

Ce procédé consiste à rechercher en chaque point de la structure quelle est la courbure gaussienne nécessaire pour équilibrer la pression de l'eau avec une épaisseur donnée. La validité des formes obtenues a été vérifiée à l'aide de méthodes classiques telles que la méthode des éléments finis et également à l'aide d'une étude sur un modèle réduit assez important. Les structures obtenues sont en effet assez délicates à calculer vu leurs

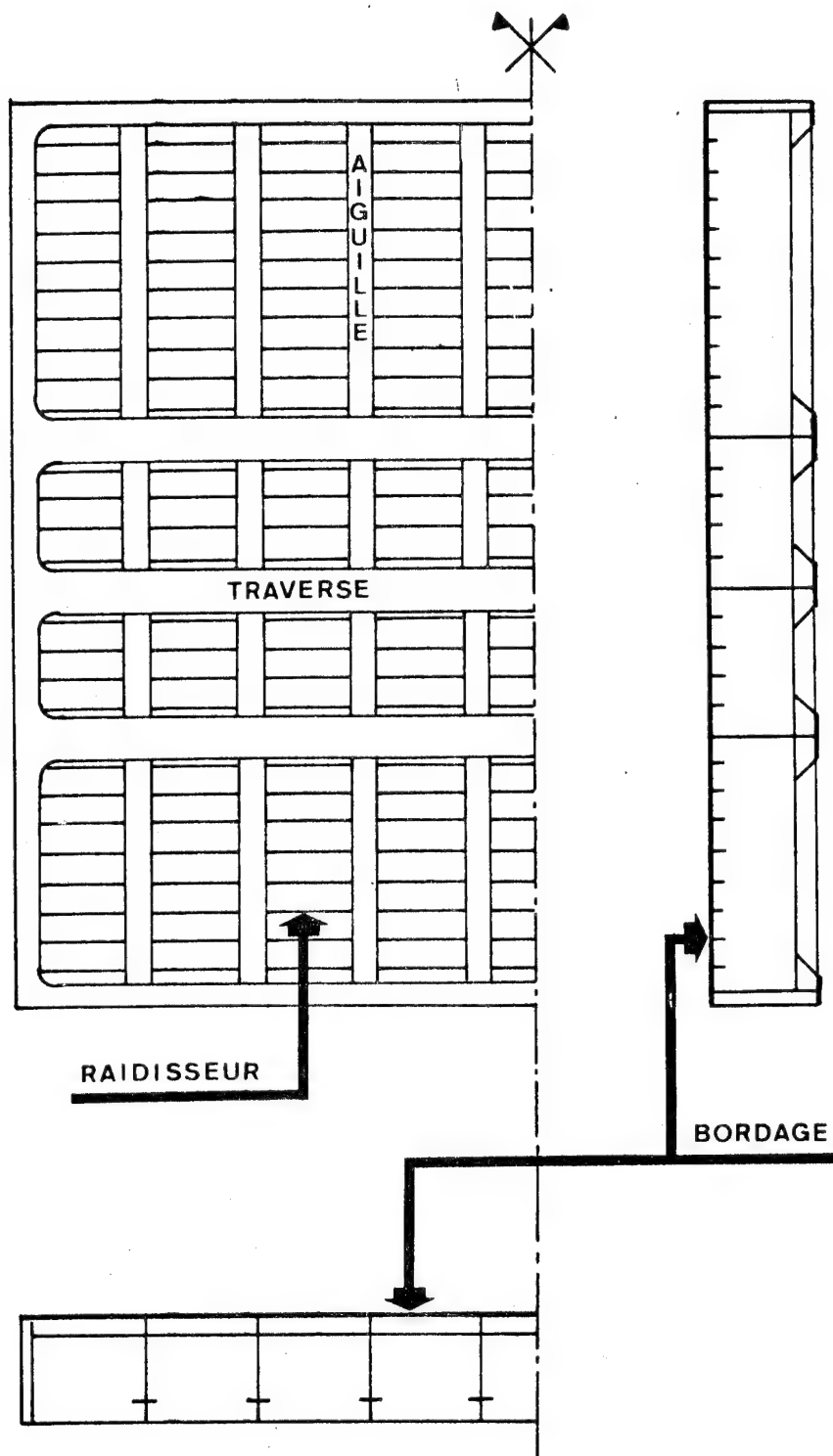
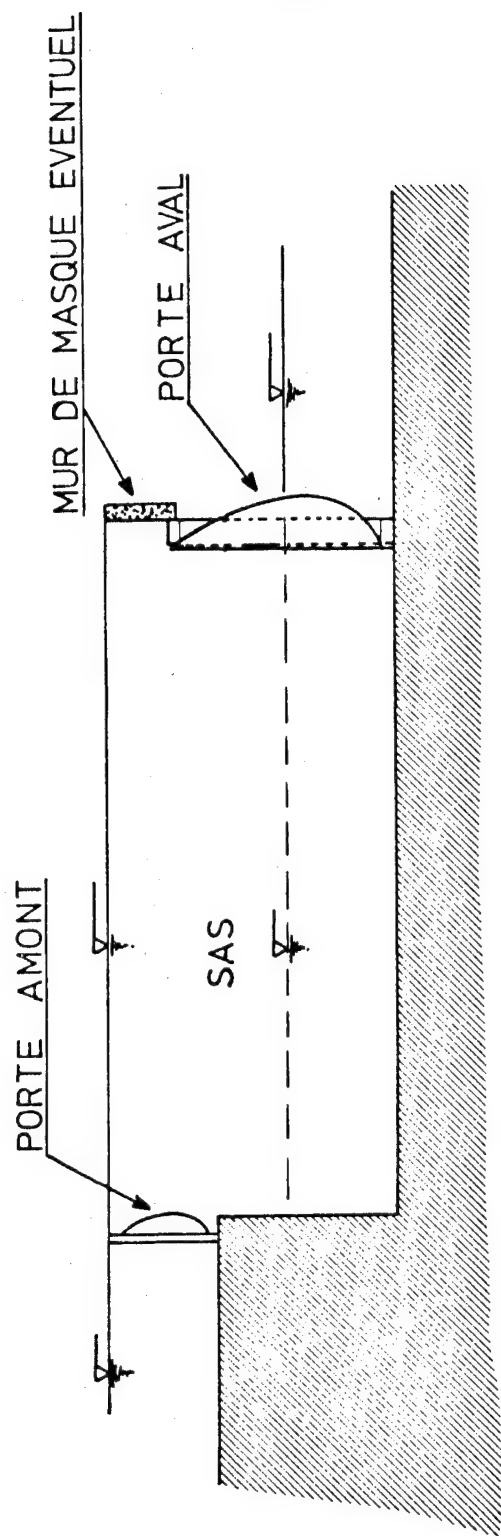


Figure 1. Structure classique pour une porte d'écluse.



### Disposition générale classique

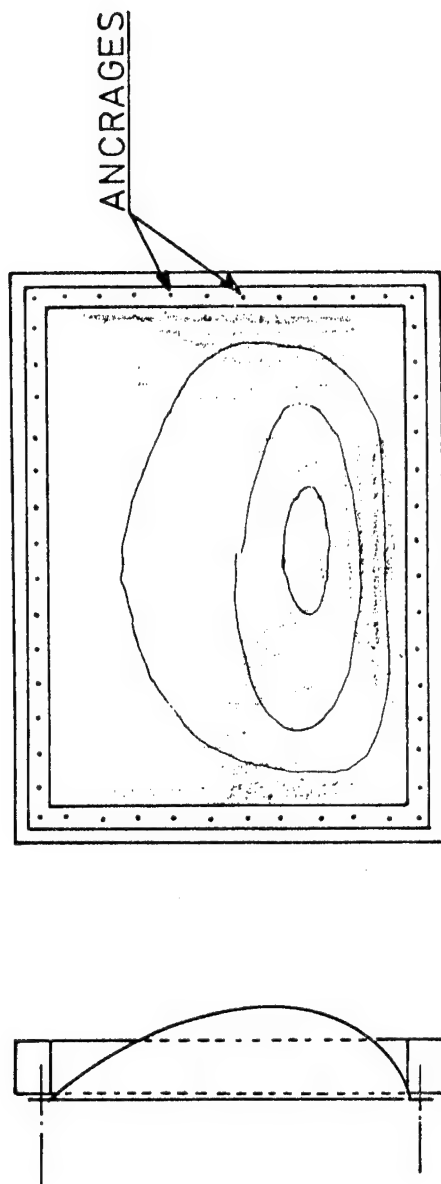


Figure 2. Schéma d'une porte d'écluse utilisant l'effet de membrane.

formes complexes.

Une vue du modèle réduit est donnée en figure 3 et montre les formes à double courbure utilisées. Il s'agit de structures travaillant de façon semblable à un barrage voûte, mais où l'eau a changé de côté. Pour les dimensions déjà citées, on arrive à des poids de l'ordre de 70 kg/m<sup>2</sup>, qui sont toujours à comparer avec 400 kg/m<sup>2</sup> de charpente métallique complexe.

A partir de ces données et en tenant compte suivant les conditions locales des prix de revient du PRV et de la charpente en acier, il est possible de décider si le PRV est économique ou non.

Il faudra tenir compte en plus d'une réduction du coût des organes de manœuvre, car la porte est beaucoup plus légère à manoeuvrer ( $\approx 120$  T pour l'acier,  $\approx 40$  T pour la solution avec PRV).

Au vu de ces résultats, et bien qu'il semble peu probable d'arriver à vaincre dans un proche avenir la méfiance de certains vis à vis du PRV, il apparaît donc possible d'envisager l'emploi de ce matériau dans la construction de portes d'écluse et ouvrages semblables.

A la limite, mais ce n'est pas à envisager en premier lieu, on peut envisager une solution semblable à celle qui vient d'être proposée dans le cas de petits prébarrages semblables à celui du Ry-Jaune, situé dans le complexe des barrages de l'Eau d'Heure. En effet, lorsque la vallée est large et impose de s'orienter vers un ouvrage à contreforts ou à voûtes multiples il devient possible de songer à une solution semblable à celle décrite sur la figure 4. Une infrastructure ordinaire en béton permet de loger les ouvrages annexes (évacuateur de crue, vidange de fond, prise d'eau) et permet d'utiliser une série de coques semblables appuyées sur des contreforts.

Le domaine d'application est limité par les dimensions des coques car il faut pouvoir les réaliser aux abords immédiats du chantier et les transporter ensuite sur les contreforts.

Il faut dans ce cas établir une comparaison avec le prix des coques en béton et de leur coffrage, mais il s'agit ici d'un élément extrêmement variable selon le site. Dans nos régions, l'intérêt semble actuellement faible mais dans les conditions difficiles de certains pays en voie de développement, il est probable qu'il serait moins coûteux de mettre en oeuvre des quantités réduites d'un matériau noble que des tonnes de granulats à bon marché qui doivent parfois venir d'assez loin. Il faut d'ailleurs se souvenir que jadis aux Etats-Unis, on a construit quelques barrages avec superstructure en acier, ce qui prouve bien que les conditions économiques locales peuvent parfois amener à remplacer le béton par un matériau plus noble.

Dans le cas des barrages, cependant, la faible expérience du PRV sous sollicitation de longue durée est encore un lourd handicap qui fait à juste titre hésiter les responsables. Ce problème va bien sûr diminuer avec l'amélioration de l'expérience acquise au fil des années. Il faut espérer que le prix croissant des résines ne viendra pas entretemps modifier complètement les conclusions actuelles.

Par contre, avec la crise de l'énergie qui ne fait que s'aggraver, un intérêt nouveau est porté sur la récupération des petites ressources en énergie hydraulique. Une étude très complète a été réalisée dans l'Etat de New-York et révèle que des quantités faibles, mais non négligeables d'énergie peuvent y être ainsi récupérées. Une telle politique amène à concevoir de nombreux petits ouvrages de retenue assez faible. Il s'agit en quelque sorte d'une énergie hydraulique douce ne nécessitant pas la construction d'énormes retenues dont les risques sont considérables et qui sont toujours contestés par les riverains. Dans une telle optique, l'utilisation de petits barrages à voûtes multiples du type déjà présenté et comportant de nombreuses coques minces en PRV prend un intérêt nouveau.



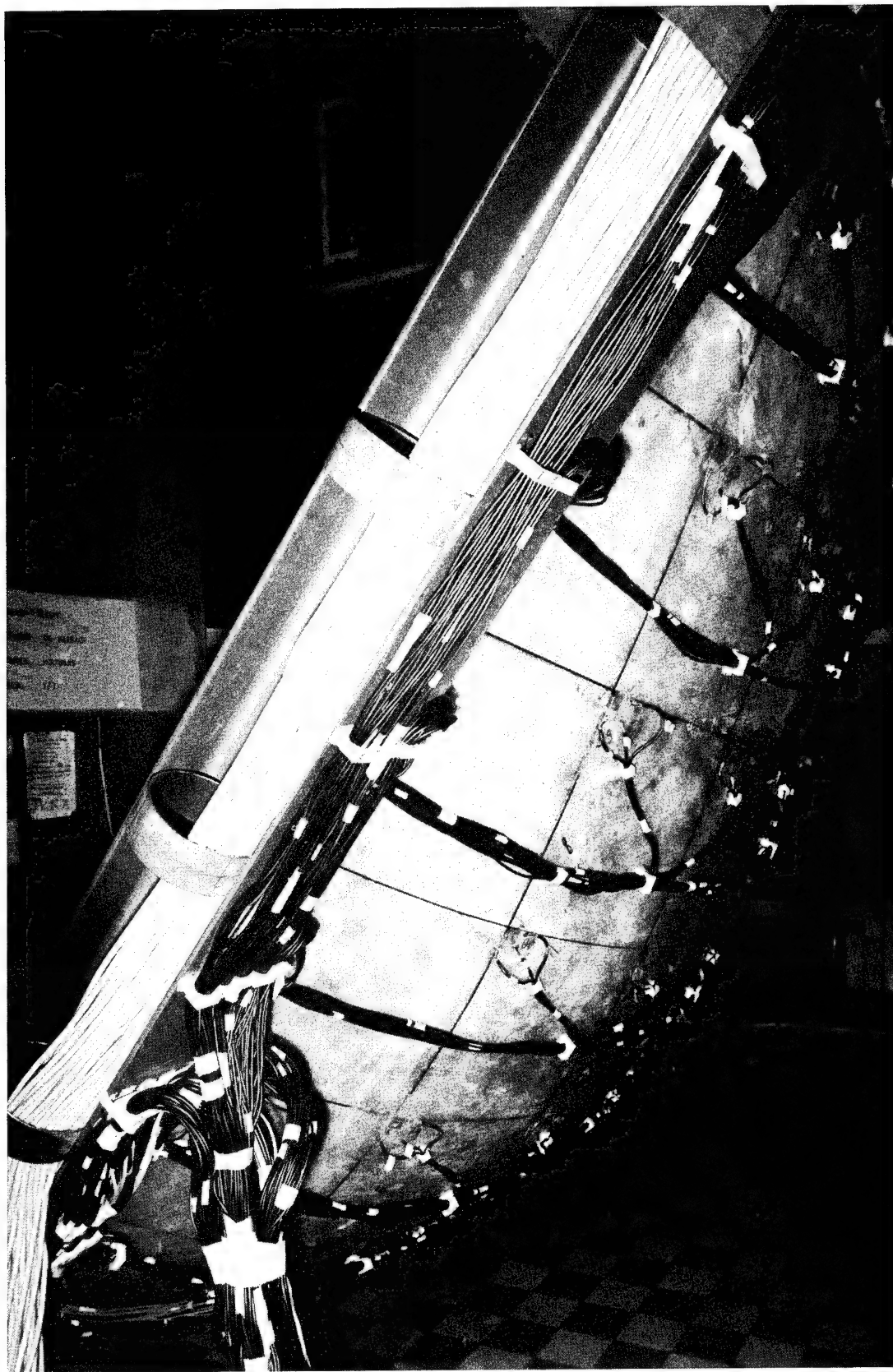


Figure 3. Vue d'ensemble du modèle réduit .

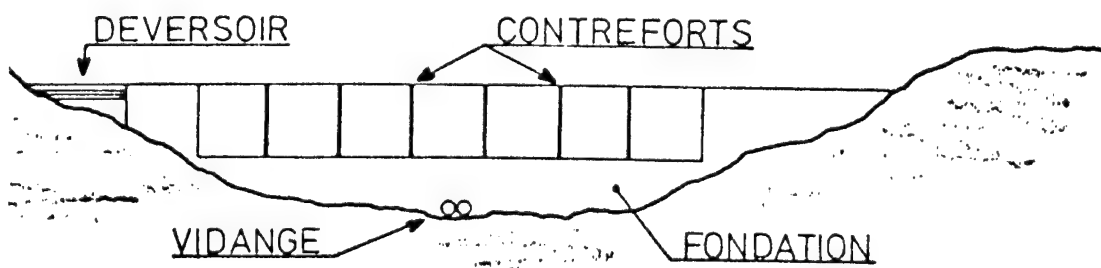
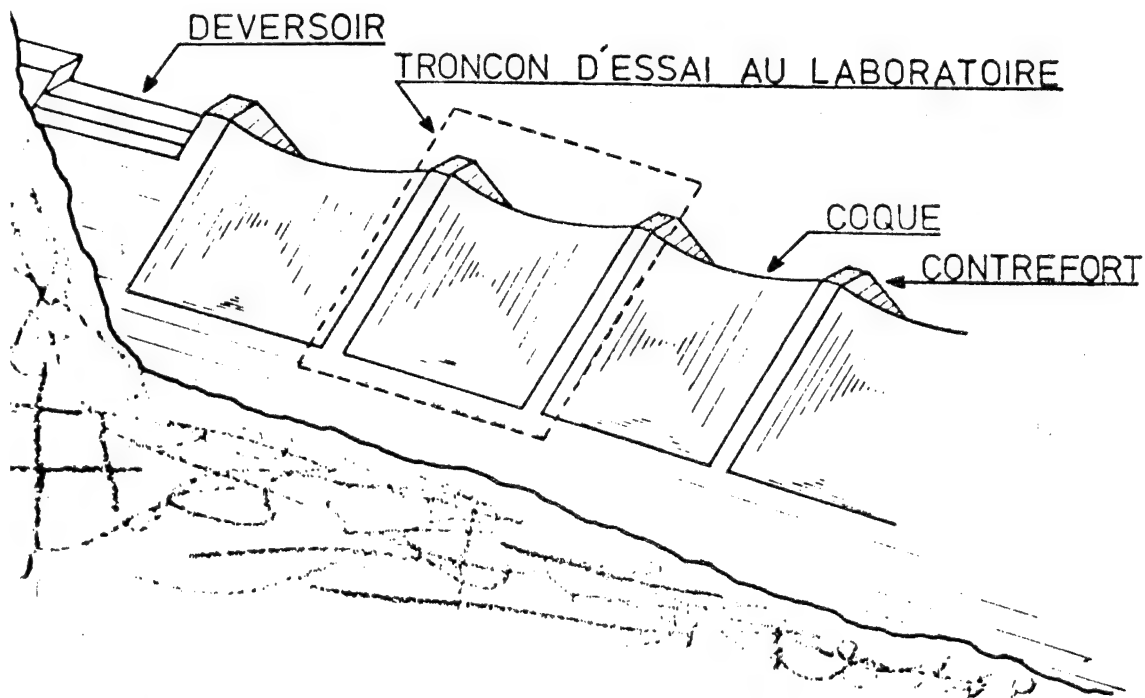
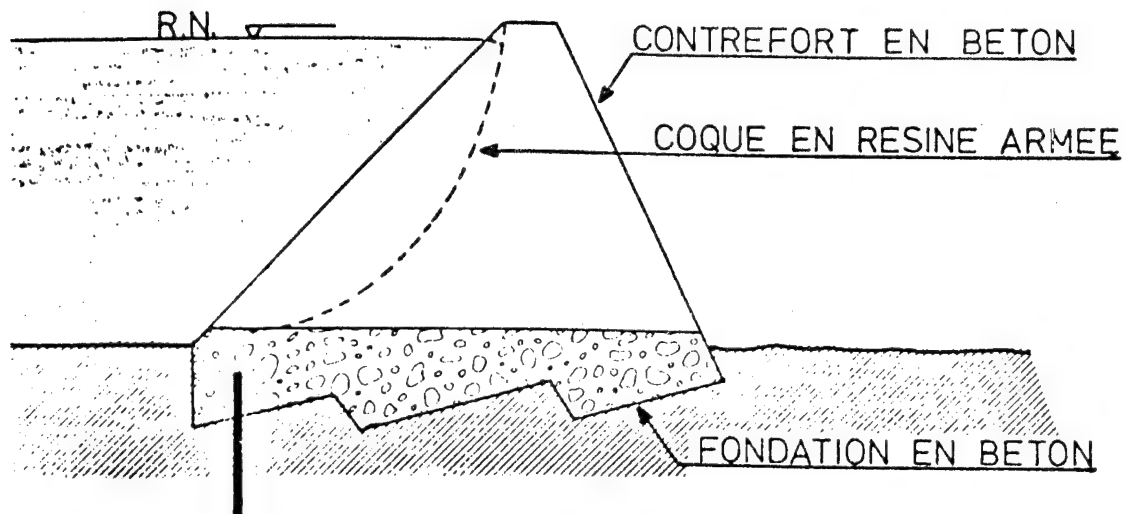


Figure 4. Schéma d'un barrage à voûtes multiples avec coques en P.R.V.

C'est dans ce contexte qu'une méthode permettant un prédimensionnement rapide de telles coques minces à double courbure a été développé, avec la collaboration du C.R.I.F.

En guise de conclusion, il faut encore rappeler que, hélas, bien peu de données sont publiées concernant l'estimation de la résistance à très long terme du P.R.V. et ce point incite les Autorités Responsables à une très grande prudence. Le souvenir des premières expériences malheureuses entache aujourd'hui encore l'image de marque du P.R.V.

#### REFERENCES.

- (1) Wilson W. Binger  
" United States looks to small hydro "  
Water Power and Dam construction-vol.31,n°4,april 1979.
- (2) R.S.Brown et all.  
" Small hydro studies in New York state "  
Water Power and Dam construction-vol.31,n°4,april 1979.
- (3) M.Sander  
" Les grandes structures hydrauliques face aux résines armées "  
Collection des Publications de la faculté des Sciences Appliquées  
Université de Liège-Avril 1980.

BAUELEMENTE AUS GFK - WIRTSCHAFTLICH, UMWELTFREUNDLICH UND  
ENERGIESPAREND

GRP CONSTRUCTION ELEMENTS : HOW TO ECONOMISE, CARE FOR THE  
ENVIRONMENT AND SAVE MONEY

Ir. Heinz HOLLENBERG

Verkaufsleiter (Ingenieur und Betriebswirt) - Abteilung Bausysteme

Grillo-Werke, Voerde, Germany

ZUSAMMENFASSUNG

Das Referat wird sich am Gesamtthema "Glasfaserverstärkte Kunststoffe als Mittel zur Wirtschaftlichkeit" orientieren und behandelt Bausysteme, die unter Verwendung von Lichtplatten aus glasfaserverstärktem, ungesättigtem Polyesterharz hergestellt werden - ein Thema, das Architekten, Ingenieure, Mitarbeiter von Baufirmen und Behörden, Bauherren und Studierende interessiert.

SUMMARY

The talk will centre on the general theme of "Glass-fibre reinforced plastics as a means of economy", and deal with building systems using light plates made of glass-fibre reinforced unsaturated polyester resin - a theme of interest to architects, engineers, workers in building firms, authorities, building contractors and students.

BAUELEMENTE AUS GFK - WIRTSCHAFTLICH, UMWELTFREUNDLICH  
UND ENERGIESPAREND

H. Hollenberg

GRILLO-WERKE AG, Postfach 11 80, D - 4223 Voerde 2,  
Telefon: 0281 / 131; Telex: 812 728

Einleitung

1. Tageslicht durch Dach und Wand
  - 1.1 Typische Bauelemente
2. Technische Anforderungen an die Produkte

Hauptteil

3. Generelle Wirtschaftlichkeit
  - 3.1 Raumbeleuchtung
  - 3.2 Investitions- und Betriebskosten
4. Spezielle Wirtschaftlichkeit
  - 4.1 Günstiger Wärmedurchgangswert K
  - 4.2 Kurze Amortisationszeit
  - 4.3 Kollektor-Shedlichtbänder
5. Umweltschutz
  - 5.1 Schalldämmung
  - 5.2 Vermeidung von Geruchsbelästigung

Schlußbetrachtung

## Einleitung

### 1. TAGESLICHT DURCH DACH UND WAND

Die Bausysteme unseres langjährig bewährten Programms werden in erster Linie, jedoch nicht ausschließlich, als Belichtungselemente für Hallenbauten eingesetzt.

Die sinnvolle Nutzung des natürlichen Tageslichtes ist heute, in einer Zeit zunehmender Energieverknappung und steigender Energiepreise, mehr denn je ein Gebot. Sinnvolle Nutzung heißt: Aufnahme der erwünschten und Abwehr der unerwünschten Einflüsse im Innenraum von Gebäuden.

Dem Verzicht auf Tageslicht stehen zunächst wirtschaftliche Überlegungen entgegen, nämlich die Investitionskosten und laufende Betriebskosten für Kunstlicht.

Tageslicht mit den tages- und jahreszeitlichen Schwankungen ist aber auch eine unabdingbare Voraussetzung für die Psyche, den biologischen Lebensrhythmus und das Wohlbefinden des Menschen.

Das Tageslicht fördert die Aktivität und Leistungsbereitschaft, damit also die Produktivität, reduziert die Ausschuß-Produktion, dämmt Ermüdung ein, erhöht die Sicherheit, d. h. es ergeben sich weniger Unfälle.

#### 1.1 TYPISCHE BAUELEMENTE

Wir müssen unterscheiden zwischen Belichtungssystemen für das Dach und für die Wände.

Die Lichtelemente, die ich Ihnen vorstelle, haben gemeinsame Merkmale.

Es handelt sich um vorgefertigte, wärmedämmende Verbund-Elemente aus GFK-Lichtplatten und Aluminium-Profilen, für das Dach in bombierter Form, für die Wände in ebener Form. Die Lichtplatten werden unter Einsatz lichtbeständiger Polyesterharze hergestellt; die Oberflächen werden vergütet.

Sie ergeben, wie später noch ausgeführt wird, ein ruhiges, ausgewogenes, blendungsfreies und kühles Licht.

Das geringe Gewicht von  $10 \text{ kp/m}^2$  erleichtert die Montage. Die Anschlüsse an den Baukörper sind dauerhaft dicht.

#### DACH

Oberlichtband und Shedlichtband werden als Systemprogramm mit gestaffelten Stützweiten bis 6 m hergestellt, im Sonderprogramm kann jede beliebige Stützweite bis etwa 7 m ausgeführt werden.

Es sind verschiedene Lichtplatten-Kombinationen mit unterschiedlicher Lichtdurchlässigkeit möglich.

Beim Shedlichtdach wird die direkte Sonneneinstrahlung durch eine transparente Glasgespinsteinlage abgeschirmt. In Kombination mit dem flachgeneigten Dach stellt diese Konstruktion eine preisgünstige Alternative zum klassischen Sheddach dar.

Die Länge der Dachlichtbänder, bestehend aus Elementen, ist unbegrenzt. Lüftungsanlagen und Rauch- und Wärmeabzugsanlagen können integriert werden - oberhalb der wasserführenden Ebene des Daches also.

## WAND

Die klare Gliederung der Elemente mit verschiedenen Rasterformen macht eine harmonische Anpassung an den Baukörper möglich. Die Einzelelemente werden in allen Abmessungen bis 2 m Breite produziert. Die maximale Höhe der Lichtfassade liegt bei 8 m; bei dieser Höhe ist keine tragende Unterkonstruktion aus Stahl, Beton oder Holz notwendig.

Die Konstruktionen werden überwiegend in Sporthallen, Industriehallen und Flugzeughallen eingesetzt; danach richten sich die technischen Anforderungen.

## 2. TECHNISCHE ANFORDERUNGEN AN DIE PRODUKTE

Über die technischen Anforderungen an das Material, an die Bauelemente und an die Bausysteme möchte ich heute keine Einzelheiten vortragen. Sie sprengen, da sie sehr umfangreich sind, den Rahmen dieses Referates.

Sie sehen die wichtigsten technischen Forderungen in aufgelisteter Form als Lichtbilder.

(Falls die Referate dieses Symposiums in Form einer Broschüre erscheinen, werden die technischen Anforderungen dort wiedergegeben.)



## Hauptteil

### 3. GENERELLE WIRTSCHAFTLICHKEIT

#### 3.1 RAUMBELEUCHTUNG

Jede Auslegung von Dachlichtbändern und Lichtwänden für die Belichtung einer Halle mit Tageslicht stellt eine Optimierung unter Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte dar.

Die Lichtflächen werden dimensioniert und erstellt unter Berücksichtigung folgender Hauptforderungen:

Ausreichende Lichtmenge,  
keine Blendung,  
hohe Gleichförmigkeit des Lichtes.

Die Lichtmenge, die "Raumbeleuchtungsstärke" ist linear abhängig von der "Außenbeleuchtungsstärke".

Im allgemeinen legen wir Dachlichtbänder und Lichtwände für folgende Raumbeleuchtungsstärken aus:

Lagerhallen	150 - 200 Lx
Produktionshallen	300 Lx
Sportshallen	300 - 400 Lx
Wettkampfhallen	600 Lx.

Die Glasfasern der GFK-Lichtplatten brechen und verteilen das einfallende Licht; es ergibt sich eine gute Lichtstreuung, ein diffuses, gleichmäßiges Licht unter Vermeidung von Leuchtdichtekontrasten.

Für Sonderfälle werden weiß eingefärbte Lichtplatten oder zusätzliche Glasgespinsteinlagen berücksichtigt, die das störende Sonnenlicht filtern.

Wenn ich von einer Optimierung sprach, dann wegen der Tatsache, daß "viel Licht" auch heißen kann "viel Wärme". Die Devise heißt also

"so viel Licht wie nötig,  
so wenig Wärme wie möglich."

Die Lichtflächen dürfen also keinesfalls zu groß dimensioniert werden, denn das äußert sich in einer zu großen Wärmetransmission von außen nach innen im Sommer und in einem zu großen Wärmedurchgang von innen nach außen im Winter.

Zweischalige oder dreischalige Lichtelemente bringen zwar eine ganz wesentliche Verbesserung des Wärmedurchgangskoeffizienten, man erreicht aber den Wert einer gut wärmegeprägten dunklen Raumbegrenzungsfläche nicht.

Die Lichtflächen müssen nicht unvernünftig groß dimensioniert werden, denn Tageslicht und Kunstlicht können sich sinnvoll ergänzen.

Beispiele sind Punktleuchten an den Maschinen für die Fertigung von Präzisionsteilen oder Kunstlicht als Tageslichtergänzungsbeleuchtung in Sporthallen.

Tageslicht und Kunstlicht sind in der Bundesrepublik Deutschland noch in zwei verschiedenen DIN-Vorschriften behandelt; eine Zusammenfassung erscheint zweckmäßig.

### 3.2 INVESTITIONS- UND BETRIEBSKOSTEN

In der Bundesrepublik werden immerhin 2 % der Primärenergie und 8 % der elektrischen Energie für künstliche Beleuchtung aufgewendet. In den anderen westeuropäischen Staaten liegen gleiche Verhältnisse vor.

Das ist Anlaß genug, über die Nutzung des natürlichen Tageslichtes nachzudenken, einer Nutzung, die wir in unseren Wohnungen seit Jahrhunderten gewöhnt sind.

Für Dachlichtbänder und Lichtwände liegen die Investitionskosten nicht wesentlich höher als für dunkle, eventuell zweischalige Raumverkleidungselemente mit Wärmedämmung.

Die Betriebskosten sind mit annähernd Null anzusetzen, abgesehen von der üblichen Reinigung.

Das sieht bei ausschließlich künstlicher Beleuchtung anders aus. In "Dunkelhallen" sind die Investitions- und Betriebskosten erheblich.

#### 4. SPEZIELLE WIRTSCHAFTLICHKEIT

Energieeinsparung ist ein aktuelles Gebot. Die energiesparenden Investitionen werden allein in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1980 einen Auftragswert von 22 Milliarden DM ausmachen, nach Vorausberechnungen im Jahre 1985 80 Milliarden DM.

Nur da, wo es einzig und allein auf Licht und Witterungsschutz ankommt, werden noch einschalige Elemente eingebaut. Mit Rücksicht auf die mögliche Einsparung von Heizenergie werden heute fast überall zweischalige und sogar dreischalige Elemente berücksichtigt. Die technischen Vorschriften, Richtlinien und Verordnungen der westeuropäischen Staaten spiegeln mit ständig verschärften, aber realistischen Forderungen die Situation wider.

Die Wirtschaftlichkeit von Investitionen läßt sich auf analytisch-rechnerischem und graphisch-zeichnerischem Wege leicht nachweisen.

Den folgenden Lichtbildern können Sie eine tabellarische Zusammenstellung über die Rechenmethoden und über die in Ansatz zu bringenden Formeln entnehmen.

Die graphische Methode mit Darstellung der gegenseitigen Abhängigkeit der Einflußfaktoren ist anschaulicher.

Die Antworten auf folgende Fragen sind bei Schaffung geeigneter Hilfsmittel sofort abzulesen:

- a) Amortisationszeit unter gegebenen Bedingungen,
- b) Veränderung der Amortisationszeit bei sich ändernder Verzinsung und Heizkostenverteuerung,
- c) Zulässige Investitionskosten, wenn sich diese in einer bestimmten Zeit amortisiert haben sollen.

#### 4.1 GÜNSTIGER WÄRMEDURCHGANGSWERT K:

Die zwei- und dreischaligen Elemente, die ich Ihnen heute vorstelle, haben wegen des Einschlusses von Luft oder transparenter Glasgespinsteinlage sehr günstige Wärmedurchgangskoeffizienten im Vergleich zu einschaligen Glaslichtbändern - der bis vor einigen Jahren üblichen Bauweise - bei gleichzeitig vernünftigem Preis.

Die Wärmedurchgangszahlen bei Variationen der Produkte sehen Sie im folgenden Lichtbild. Die verschiedenen Dicken der Elemente werden von der statischen Berechnung bestimmt.

#### 4.2 KURZE AMORTISATIONSZEIT :

Um Ihnen die schnelle Amortisation zu demonstrieren, habe ich einige Beispiele gerechnet und gezeichnet. Sie können den beiden folgenden Lichtbildern entnehmen, daß sich die Mehrkosten der Investition hochwertiger Bauelemente innerhalb weniger Jahre amortisiert haben.

Dagegen steht die große Lebensdauer der Elemente, die bei Pflege ohne großen Aufwand - wir empfehlen einmal pro Jahr eine gründliche Reinigung - mit etwa 25 bis 30 Jahren anzusetzen ist.

Zunächst einige Definitionen:

Die Investitionskosten sind die Anschaffungskosten für die Bauelemente einschließlich Montage. Die Abschreibung und damit die Verzinsung nur des jeweiligen Restwertes ist nicht bei allen Rechenmethoden berücksichtigt.

Als Betriebskosten sind die Energiekosten (Heizkosten) ohne Unterhaltungs-, Ersatz- und Nebenkosten erfaßt.

Im Gegensatz zur vereinfachten, statischen Betrachtungsweise - keine Verzinsung der Investitionskosten und der Betriebskostendifferenz, unveränderte Energiepreise - werden bei der dynamischen Betrachtungsweise Verzinsung und zu erwartende Energiepreiserhöhung berücksichtigt.

Erklärung zu den Lichtbildern:

- a) Bei einer Energiepreissteigerung von jährlich 12 % liegt die Amortisationszeit zweischaliger Elemente bei 4,75 Jahren, die Amortisationszeit dreischaliger Elemente bei 5,86 Jahren.
- b) Mit stärker ansteigenden Energiekosten verkürzt sich natürlich die Amortisationszeit, nämlich von 4,75 auf 4,02 Jahre und von 5,86 auf 4,84 Jahre.
- c) Die Amortisationszeit dreischaliger Elemente liegt im Augenblick noch höher als bei zweischaligen Elementen, und zwar wegen des Preises dreischaliger Elemente. Wir arbeiten deshalb an einer Vereinfachung dieser Lichtelemente.

Wenn diese dreischaligen Bauelemente zu einem Preis von 213,--DM/m<sup>2</sup> geliefert und montiert werden können, ergibt sich die gleiche Amortisationszeit wie bei zweischaligen Elementen.

- d) Den Vorteil für den Bauherrn bzw. Nutzer einer Halle nach Ablauf der Amortisationszeit erkennt man am besten in der anschaulichen graphischen Darstellung.

#### 4.3 KOLLEKTOR - SHEDLICHTBÄNDER

Auf eine interessante und aktuelle Alternative möchte ich Sie noch hinweisen: Es ist möglich, auf die um  $30^{\circ}$  gegen die Horizontale geneigte Südseite der Shedlichtbänder Kollektoren aufzulegen bzw. Kollektoren in die Elemente einzulegen.

Gesamtanlagen werden in Zusammenarbeit mit Spezialfirmen erstellt.

## 5. UMWELTSCHUTZ

Mit ständig steigender Wohndichte gewinnen die Fragen des Umweltschutzes größeres Gewicht; Luft- und Gewässervorreinigung stellen eine große Gefahr dar.

Aber auch die zunehmende Belästigung durch Lärm und üble Gerüche sind ein großes Handikap.

Wir haben uns auf diese Situation eingestellt.

### 5.1 SCHALLDÄMMUNG

Wegen des geringen Gewichtes weisen die Verbundelemente ein Schalldämm-Maß von 25 dB auf. Für den Normalfall reicht dieses Schalldämmvermögen aus. Es gibt jedoch besondere Anwendungsfälle.

Die Elemente sind mehrfach als Klärbecken-Abdeckung eingebaut worden, bei runden Klärbecken in ebener Form, bei langgestreckten Wasserberuhigungsbecken und Wasserbelebungsbecken in bombierter Form.

Bei einer definierten technischen Aufgabe, sei es in Form eines Lärmstatus auf der Basis von Schallpegelmessungen oder in Form einer Prognose der zu erwartenden Geräuschimmissionen in der nächstgelegenen Wohnnachbarschaft, werden schalldämmende Platten während der Produktion in die zweischaligen Elemente eingelegt. Auf diese Art werden Schalldämm-Maße von 35 dB und mehr erreicht. Das reicht aus, um eine Schallimmission von 75 dB auf den in Wohngebieten zulässigen Sollpegel - tags 55 dB (A), nachts 40 dB (A) - abzumindern.

Diese Elemente sind lichtundurchlässig.



## 5.2 VERMEIDUNG VON GERUCHSBELÄSTIGUNG

Bei sehr sorgfältiger Ausbildung und Abdichtung der Auflager und Elementverbindungen tritt bei Klärbecken und Schlammförderanlagen keine Geruchsbelästigung der Umgebung auf.

Bei oberflächenvergüteter Ausführung sind die GFK-Platten gegenüber der Einwirkung aggressiver Medien, die im Wasser und im Schlamm enthalten sind, bei atmosphärischer Übertragung resistent.

### Schlußbetrachtung

Ich möchte nicht versäumen, darauf hinzuweisen, daß wir auch GFK-Formteile für die Automobilindustrie herstellen, z.B. Stoßstangenteile, Radblenden und Traktorverkleidungen. Front- und Heckklappen sind in der Entwicklung. Es werden Gewichtsreduzierungen zwischen 30 und 50 % erzielt, die dazu führen, daß Treibstoff eingespart wird.

COMPARAISON DES PROCEDES DE MOULAGE : CONTACT, INJECTION SOUS  
VIDE, INJECTION.

COMPARISON OF MOULDING PROCEDURES : HAND LAY-UP, INJECTION UNDER  
VACUUM AND INJECTION.

Mr Alain CHEVALIER

Chef technico-commercial

Vetrotex Saint-Gobain, Chambéry, France

RESUME

L'analyse porte sur la fabrication d'une pièce industrielle (surface d'environ 3 m<sup>2</sup>) selon trois procédés : contact, injection sous vide et injection. Dans ces trois cas, les différents paramètres sont étudiés :

- coût de l'investissement
- cycle de moulage
- temps de main d'oeuvre
- quantité de matière utilisée
- rendement matière
- amortissement
- caractéristiques techniques.

On en dégage un coût de fabrication des pièces selon chaque procédé suivant les séries réalisées. Ce bilan technico-économique permet d'effectuer un choix entre ces trois procédés selon les critères de sélection spécifiques.

SUMMARY

The analysis was carried out on an industrial manufactured unit according to 3 procedures : hand lay-up, injection under vacuum and injection. In the 3 cases, the different parameters were studied :

- cost of investment
- cycle of moulding
- work time
- quantity of material used
- performance of material
- depreciation
- technical characteristics

We have costed the manufacture of each unit according to each procedure. This technical-economical costing gives a possibility to make a choice between the 3 different procedures according to the standard of specific selection.

## COMPARAISON DES PROCEDES DE MOULAGE

- CONTACT
- INJECTION SOUS VIDE
- INJECTION

Le moulage au contact permet la fabrication de pièces en plastique armé sans limitations de formes ou de dimensions.

C'est un procédé intéressant pour les petites séries parce-que les investissements sont faibles et que la main d'oeuvre ne demande pas de qualification particulière. Par contre, les cadences de fabrication sont lentes, la main d'oeuvre reste importante et les conditions de travail sont peu satisfaisantes.

Plusieurs méthodes sont apparues ces dernières années pour améliorer ce genre de travail. Parmi celles-ci les méthodes entre moule et contremoule apportent des avantages intéressants : une cadence de fabrication plus rapide, une bonne fiabilité des pièces réalisées et une meilleure hygiène du milieu de travail. Par contre, la part d'investissement en matériel est plus forte.

Notre but a été de comparer sur les plans technique et économique la fabrication d'une pièce dans deux de ces méthodes de mise en oeuvre par rapport au moulage au contact.

## PRESENTATION DE L'ETUDE

Cette étude a pour but de déterminer le procédé le plus approprié pour la fabrication d'une pièce de taille industrielle et de difficulté de moulage moyenne.

Notre choix s'est porté sur un toit de tracteur exigeant une face extérieure gelcoatée et dont les caractéristiques générales sont :

- dimensions : 1,4m X 1,5m - hauteur : 9 cm
- surface développée : 2,7 m<sup>2</sup>
- épaisseur du plastique armé : 3,5 mm

Nous comparerons trois méthodes de moulage utilisables pour la réalisation de cette pièce :

- le moulage au contact
- le moulage par injection sous vide
- le moulage par injection de résine

Le moulage au contact consiste à imprégner dans un moule préalablement gelcoaté une ou plusieurs couches de renfort verre (mat, tissu ou les deux) avec une résine polyester.

La mise en place des renforts dans le moule est effectuée manuellement, l'imprégnation est réalisée à l'aide de rouleaux à poils ras et le débullage avec des rouleaux à rondelles métalliques crantées. La pièce moulée par cette méthode présente une face parfaitement lisse correspondant au côté en contact avec le moule et une face brute de roulage.

Le moulage par injection sous vide consiste à imprégner par coulée de résine puis aspiration le renfort verre placé à l'intérieur de l'empreinte (espace situé entre le moule et le contremoule).

L'introduction de la résine dans le moule est faite par gravité, ce procédé élimine l'investissement d'une machine d'injection et évite la construction de moules trop lourds.

L'écoulement de la résine est toujours réalisé par la mise en dépression de l'empreinte. L'originalité du procédé consiste à séparer les fonctions fermeture du moule et écoulement puis aspiration de la résine :

- la fermeture du moule est réalisée dans une enceinte périphérique avec un vide poussé.
- l'aspiration de la résine est réalisée par la mise sous vide de l'empreinte avec une dépression légère.

La pièce moulée par cette méthode présente deux faces lisses.

Le moulage par injection consiste à imprégner le renfort placé dans l'empreinte par une résine liquide, introduite sous pression par une machine d'injection.

La pression d'injection varie selon la viscosité de la résine, la nature des renforts et la forme de la pièce. Elle est généralement comprise entre 1 et 3 bars.

La pièce moulée par cette méthode a également deux faces lisses.

## COMPARAISON DES PROCÉDES

- ASPECT TECHNIQUE

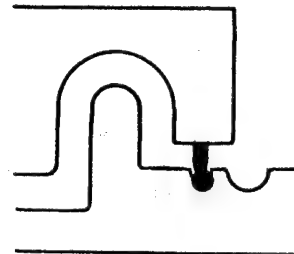
La comparaison technique effectuée sur le toit de tracteur conduit aux résultats ou observations donnés dans le tableau I

Les essais effectués sur le toit de tracteur pour la comparaison des procédés ont été réalisés sur deux moules distincts :

La zone périphérique de pincement du mat est différente dans les deux procédés de moulage entre moule et contremoule.

En moulage par injection, le mat est pincé à plat sur les quatre côtés du moule entre une lame métallique fixée sur le contremoule et un joint silicone placé dans une gorge du moule.

L'excédent de résine sort par quatre trous - événements dans les angles du moule et s'écoule dans la gorge de récupération.



En moulage par injection sous vide, le mat est pincé sur toute la périphérie du moule dans une zone de pincement inclinée à  $30^\circ$  et d'épaisseur égale au  $1/3$  de celle de la pièce.

Cette zone de pincement crée une perte de charge permettant le remplissage complet du moule et l'écoulement de la résine excédentaire dans la goulotte périphérique puis dans le piège.

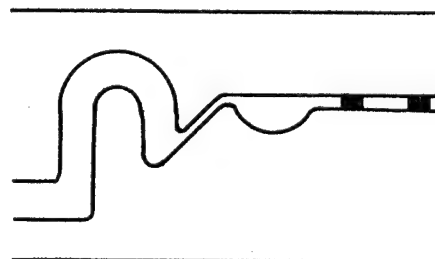


TABLEAU I - ASPECT TECHNIQUE

	Contact	Injection sous vide	Injection
Gel-coat	possible	possible	possible
Renfort pouvant être utilisé	mat fils coupés tissu	mat fils continus tissu	mat fils continus tissu
taux de renfort possible %			
tout mat	28 à 32	20 à 25	20 à 27
avec mat + tissu	35 à 40	23 à 33	25 à 35
Aspect pièces	1 face lisse	2 faces lisses	2 faces lisses
Etat de surface pièce gel coaté	très bon	bon	bon
amélioration de l'état de surface	utilisation de mat de faible grammage	voile ou mat fils coupés	voile ou mat fils coupés
détourage pièces	obligatoire	obligatoire	obligatoire
fiabilité travail	moyenne	bonne	bonne
main d'oeuvre	importante	peu importante	peu importante
qualification	faible	moyenne	moyenne
surface de travail	importante	moyenne	moyenne
ventilation local	nécessaire	pas nécessaire	pas nécessaire

L'analyse du tableau I montre que :

- le moulage entre moule et contremoule ne permet pas d'obtenir un taux de renfort aussi élevé que celui obtenu par moulage au contact.

- les pièces obtenues par moulage entre moule et contremoule ont l'avantage d'avoir deux faces lisses, mais l'aspect de la surface gel-coatée est moins beau que celui obtenu en moulage au contact. Toutefois, cet aspect de surface peut être amélioré en plaçant préalablement dans le moule un voile très fin ( $50 \text{ g/m}^2$ ) ou un mat à fils coupés de faible grammage ( $200 \text{ g/m}^2$ ).

- les procédés entre moule et contremoule offrent comme avantages :

- \* une mise en oeuvre permettant une reproduction fiable
- \* une main d'oeuvre réduite et assez qualifiée
- \* une surface de travail peu importante
- \* une meilleure hygiène du travail.

- Les procédés entre moule et contremoule ont comme inconvénient :

- \* des investissements assez importants principalement dans le cas du moulage par injection.

#### ASPECT ECONOMIQUE

##### - CYCLE DE MOULAGE

Le tableau II nous donne le cycle de moulage obtenu pour chacun des procédés.

L'analyse de ce tableau montre que :

Le temps d'immobilisation du moule lors des deux procédés de moulage par injection est trois à quatre fois plus court que celui requis dans le cas du moulage au contact.

Moulage par injection : 1 h 40 min

Moulage par injection sous vide : 2 h 20 min

Moulage au contact : 7 h 20 min

TABLEAU II - CYCLE DE MOULAGE

PROCEDES OPERATIONS	Contact Temps en min	Injection sous vide Temps en min	Injection Temps en min
Dépose gel-coat	10	10	10
Polymérisation gel-coat	20	20	20
Stratification	150		
Mise en place renfort et fermeture moule	compris dans la stratification	10 + 10	10 + 10
Remplissage du moule par la résine		10 + 10	5
Polymérisation pièce à température ambiante	240	60	25
Démoulage	5	5 + 5	5 + 5
Nettoyage moule	5	5	5
Cirage moule	10	20	20
Temps d'immobilisation du moule	<u>440</u>	<u>140</u>	<u>100</u>

Nota : Nous avons indiqué par 10 + 10 ou 5 + 5 les postes dans lesquels interviennent deux personnes.



- TEMPS DE MAIN D'OEUVRE

---

Le tableau III nous indique le temps de main d'oeuvre nécessaire pour la fabrication du toit de tracteur dans les trois procédés.

L'analyse de ce tableau conduit aux observations suivantes :

- Le temps de main d'oeuvre total est deux fois plus court pour le moulage par injection que pour le moulage au contact.

- Le gain de temps obtenu en injection sous vide n'est pas aussi important mais s'élève néanmoins à 35%.

- Le Gain de temps de main d'oeuvre obtenu dans les procédés par injection est dû principalement à la suppression de la stratification manuelle.

Nota : l'écart sur le temps de détournage entre l'injection vide et l'injection est dû à la conception différente de la zone de fermeture du moule.

Les temps de main d'oeuvre obtenus dans les trois procédés sont les suivants :

Moulage au contact : 4 H 30 min

Injection sous vide : 2 H 15 min

Injection : 1 H 40 min

TABLEAU III - TEMPS DE MAIN D OEUVRE

Procédés OPERATIONS	Contact min	Injection sous vide min	Injection min
Dépose gel coat	10	10	10
Découpe renfort	15	15	15
Stratification	150		
Mise en place renfort et fermeture moule	compris dans la stratification	20	20
Remplissage du moule par la résine		20	5
Nettoyage matériel	idem	5	
Démoulage	5	10	10
Nettoyage moule	5	5	5
Cirage moule	10	20	20
Détourage pièce	15	30	15
Temps total	210	135	100

## - MATIÈRES

---

Les matières utilisées pour la fabrication du toit de tracteur dans les trois procédés sont présentées dans le tableau IV

### Les mats

- En moulage au contact le mat M4 à liant liquide, qui se déforme bien à la mise en oeuvre a été choisi pour cette pièce assez complexe.

- Pour les deux procédés entre moule et contremoule, nous avons utilisé un mat M1 liant solide de faible grammage en surface et du mat à fils continus dans l'épaisseur de la pièce.

L'emploi du mat M1 confère à la pièce moulée un bon aspect de surface et assure une répartition homogène du verre dans les angles de la pièce .

Le mat à fils continus permet une bonne homogénéité du renforcement et un bon cheminement de la résine.

### Les résines

En ce qui concerne les résines, nous avons employé :

- En moulage au contact une formulation colorée de viscosité 600 cps.

- En moulage par injection sous vide une formulation colorée de faible viscosité (175 cps), qui permet dans ce procédé ou la pression d'injection est très faible d'obtenir des résultats optimaux.

- En moulage par injection une formulation colorée et chargée à 30% de carbonate de calcium (viscosité du mélange 600 cps). Dans ce procédé, l'emploi d'une machine permet l'utilisation d'un pourcentage élevé de charge, ce qui permet une diminution du prix de revient matière et une amélioration de l'aspect de la pièce moulée.

TABLEAU IV - MATIERES UTILISEES

	Contact	Injection sous vide	Injection
Gel coat (500g/m <sup>2</sup> ) (kg)	1,500	1,500	1,500
Renfort (kg)	3,500	3,000	3,000
Mat M4 300g/m <sup>2</sup>	1 couche		
Mat M4 450g/m <sup>2</sup>	2 couches		
Mat M1 200g/m <sup>2</sup>		1 couche	1 couche
Mat U 812 450g/m <sup>2</sup>		2 couches	2 couches
Mélange d'imprégnation (kg)	9,200	11,500	11,100
% résine polyester	95	95	65
Poids résine (kg)	8,750	10,900	7,200
% colorant	5	5	5
% charge			30
Viscosité du mélange à 20°C (centipoises)	600	175	600

## -RENDEMENT MATIERE

Le tableau V nous donne le rendement matière obtenu dans les trois procédés.

On constate que les pièces obtenues par moulage entre moule et contre-moule sont plus lourdes que celles réalisées en moulage au contact.

Cette différence de poids est due :

- à l'épaisseur du plastique armé légèrement plus forte dans le cas de l'injection sous vide et de l'injection.
- à la différence de densité de la résine chargée dans le cas du moulage par injection.

Le pourcentage de perte de matière est équivalent entre le moulage au contact et par injection.

Celui obtenu en injection sous vide est nettement plus important. Cette augmentation de la perte de matière est due à la forme de la zone de pincement du mat qui est différente de celle utilisée dans le moule pour injection.

Le pourcentage de perte de matière doit diminuer dans le cas de fabrication de pièces de dimensions supérieures à celles de la pièce moulée pour cette comparaison.

TABLEAU V - RENDEMENT MATIERE

---

	Contact	Injection sous vide	Injection
Poids total Matière kg	14,200	16,000	15,600
Poids pièce Détournée kg	12,000	12,500	13,200
Perte de matière kg	2,200	3,500	2,400
% de perte de matière	18	28	18

- INVESTISSEMENT

---

Dans le tableau VI sont consignés les coûts des matériels et des moules pour la fabrication des capots dans les trois procédés ainsi que la capacité de production quotidienne par moule.

L'investissement en matériel est deux fois plus élevé en moulage par injection qu'en moulage au contact.

L'injection sous vide se situe entre les deux, plus proche néanmoins du moulage au contact.

Par rapport au moulage au contact, le coût d'un moule est 2,5 fois plus élevé en injection sous vide et 4 fois plus en injection.

TABLEAU VI - INVESTISSEMENT

	Contact	Injection sous vide	Injection
<u>Matériel</u>			
Machine gel-coat	20 000 Frs	20 000 Frs	20 000 Frs
Cabine gel-coat	40 000 Frs	40 000 Frs	40 000 Frs
Machine injection			50 000 Frs
Portique de levage			5 000 Frs
Pompe à vide et accessoires		20 000 Frs	
Total	60 000 Frs	80 000 Frs	115 000 Frs
<u>Moules</u>			
Coût d'un moule	8 000 Frs	20 000 <sup>+</sup> <sub>o</sub> Frs	32 000 Frs
Capacité de produc- tion par moule pièces/jour	1	3	4
(1 poste de 8 H)			



- AMORTISSEMENT

---

L'amortissement du matériel et des moules apparaît dans le tableau VII

- L'amortissement du matériel a été calculé sur 5 ans pour des séries de 250 à 10 000 Pièces/an
- L'amortissement des moules est basé sur le nombre de pièces qui peuvent être fabriquées dans un moule pour chacun des procédés avec une utilisation correcte du moule :
  - \* contact : 500 pièces
  - \* injection sous vide et injection : 1 500 pièces

On constate sur ce tableau que quelle que soit la série de pièces à réaliser, l'amortissement pour une pièce est plus élevé dans les procédés de moulage entre moule et contremoule.

TABLEAU VII - AMORTISSEMENT

	Contact	Injection sous vide	Injection
<u>Matériel / 5 ans</u>	Francs (pièce)	Francs (pièce)	Francs (pièce)
250 pièces/an	48	64	92
500 pièces/an	24	32	46
1000 pièces/an	12	16	23
2000 pièces/an	6	8	11,50
5000 pièces/an	2,40	3,20	4,60
10 000 pièces/an	1,20	1,60	2,30
<u>Moules</u>	500 pièces	1500 pièces	1500 pièces
par pièce	16 F	13,33 F	21,33 F

#### PRIX DE REVIENT

Le prix de revient d'une pièce pour chacun des procédés est consigné dans le tableau VIII.

Les prix matières ont été calculés d'après les tarifs valables au 01/02/1980.

Le taux horaire utilisé pour cette comparaison est de 44 Francs/heure H.T.

Il comprend les frais généraux d'atelier tels que maîtrise, entretien. Pour chacune des séries mentionnées dans le tableau VIII, l'injection sous vide donne un prix de revient inférieur à celui obtenu en moulage au contact (7 à 14 % selon les séries).

A partir de 250 pièces/an, l'injection conduit à un prix de revient inférieur à celui obtenu avec les deux autres procédés. (5 à 28 % selon les séries)

Le graphique (tableau IX) réalisé pour illustrer la décomposition du prix de revient d'une pièce pour une série de 1000 pièces/an, met bien en évidence la part prépondérante de la main-d'oeuvre dans les différences de coût.

TABLEAU VIII - PRIX DE REVIENT D'UNE PIECE

	Contact	Injection sous vide	Injection
	Francs	Francs	Francs
<u>Matières</u>			
Gel-coat	21	21	21
Renfort	41	35	35
Résine	77	99	73
Total	139	155	129
Main d'oeuvre	154	99	73
<u>Amortissement</u>			
Moules	16	13	21
Matériel			
250 pièces/an	48	64	92
500 pièces/an	24	32	46
1000 pièces/an	12	16	23
2000 pièces/an	6	8	11,50
5000 pièces/an	2,40	3,20	4,60
10000 pièces /an	1,20	1,60	2,30
<u>Prix de revient</u>			
250 pièces/an	357	331	315
500 pièces/an	333	299	269
1000 pièces/an	321	283	246
2000 pièces/an	315	275	234,50
5000 pièces/an	311,40	270,20	227,60
10000 pièces/an	310,20	268,60	225,30

PRIX REVIENT  
francs

PRIX DE REVIENT D'UNE PIECE POUR DES SERIES DE

250 à 2000/an

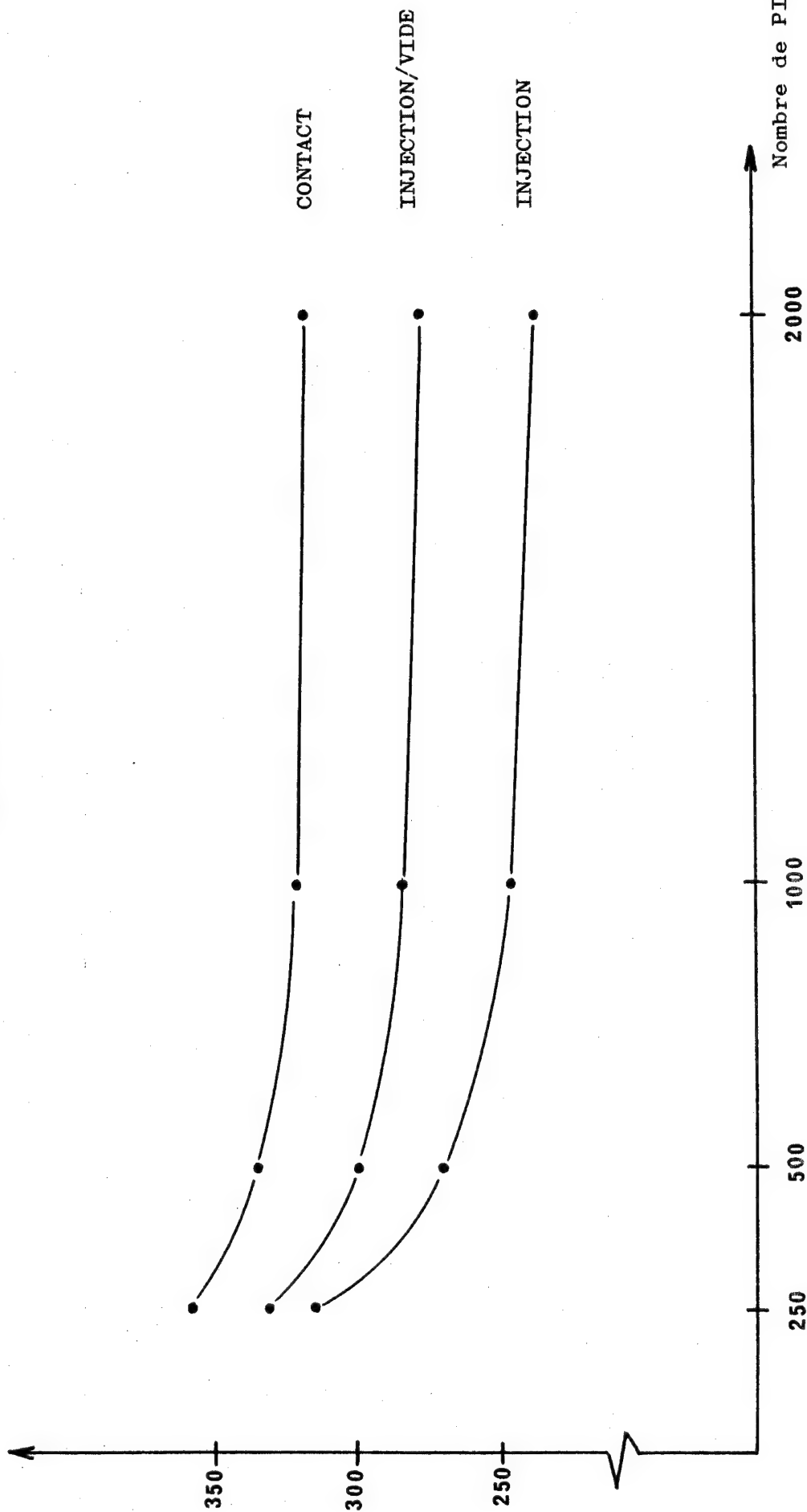
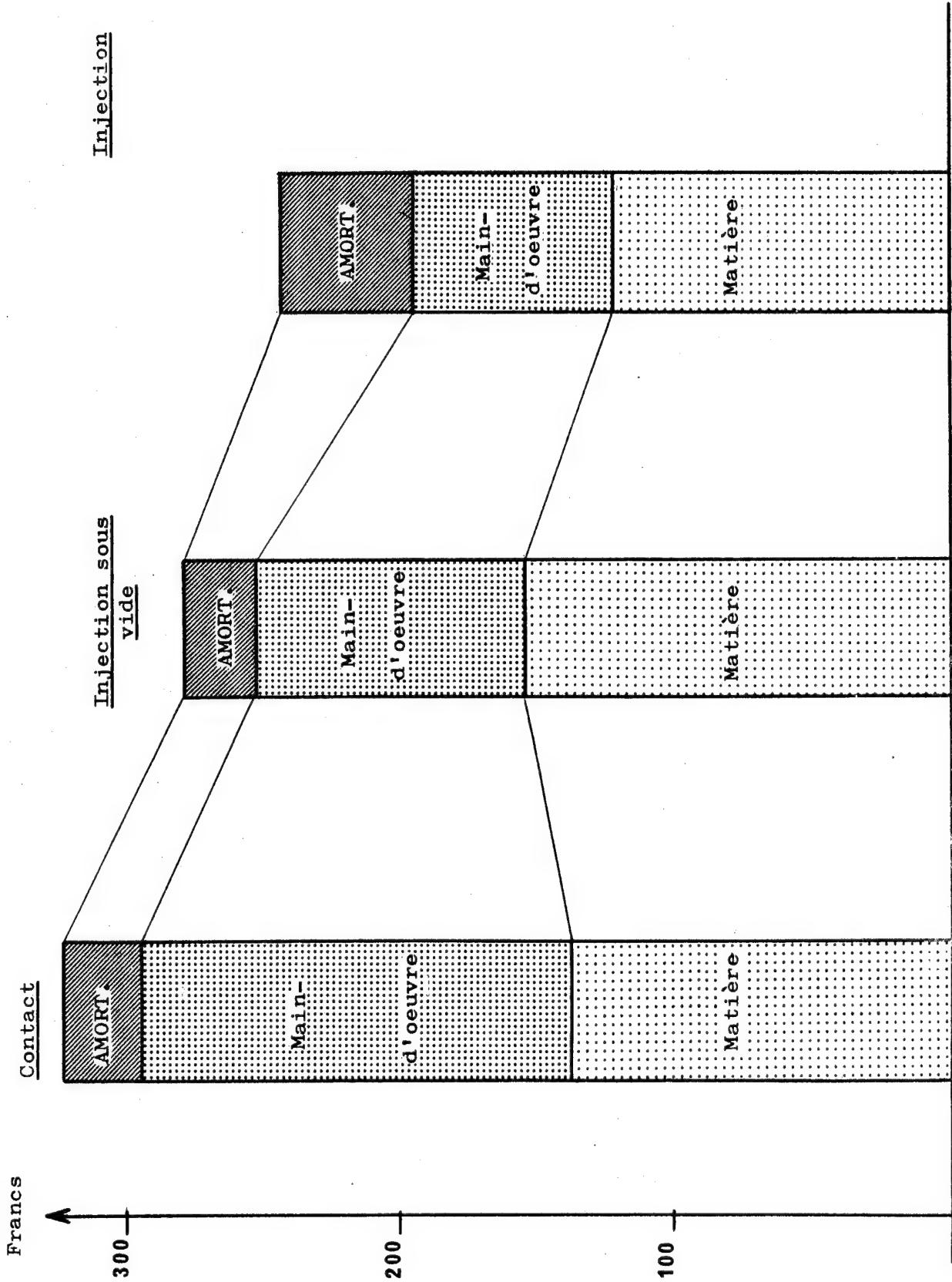


TABLEAU IX

DECOMPOSITION DU PRIX DE REVIENT D'UNE PIECE

SERIE DE 1000 PIECES/AN



CONCLUSION

L'étude effectuée permet de tirer les conclusions suivantes :

Pour la pièce étudiée les procédés injection sous vide et injection, nous apparaissent comme très intéressants. Il faut cependant noter que ces procédés ne sont pas applicables pour tout type de pièces.

Quelle que soit la série annuelle à réaliser, le moulage par injection sous vide donne un prix de revient pour une pièce inférieur à celui obtenu en moulage au contact.

Le moulage par injection conduit à un prix de revient pour une pièce inférieur à celui des deux autres procédés lorsque la série à réaliser est d'au moins 250 pièces/an.

Ces deux procédés de moulage entre moule et contremoule apportent d'autre part de nombreux avantages par rapport au moulage au contact :

- une bonne fiabilité des pièces moulées.
- une diminution du temps de main-d'oeuvre.
- l'obtention de pièces ayant deux faces lisses.
- une meilleure hygiène de travail.
- une surface de travail moins importante pour une même série à réaliser.
- la possibilité d'organiser le poste de travail par carrousel.

Pour terminer cette étude, nous pensons qu'il est intéressant de parler des moyens de mise en oeuvre.

La bonne construction des moules est indispensable pour assurer la réussite de ces procédés.

Il existe des fabricants spécialisés pour ce genre de travail et nous ne saurions trop insister pour que les transformateurs de plastique armé s'adressent à ces spécialistes pour la fabrication de leurs moules. En effet, si le moulage par injection a connu certaines difficultés il y a quelques années, c'est parce-que les moules n'avaient pas été construits avec assez de soin.

En conclusion générale, nous pensons que l'étude que nous avons effectuée permet de dire que les moulages par injection sous vide et par injection sont des procédés moyenne série très compétitifs par rapport au moulage au contact.

UN NOUVEAU PROCÉDE DE REVETEMENT DES ISOLATIONS INDUSTRIELLES :

"LE PLASTIQUE ARME", ASSOCIE AUX ECONOMIES D'ENERGIE

A NEW INSULATION CONCEPT BASED ON GRP FOR INDUSTRIAL PIPINGS

AND THE ENERGY SAVING

Mr A. GUINAUD

Ingénieur

Wanner Isofi, Rueil Malmaison, France

RESUME

L'importance croissante du calorifuge et les agressions onéreuses que subissent les revêtements d'isolation (corrosion chimique, humidité) ont conduit à étudier un nouveau revêtement préfabriqué en plastique armé, apportant une protection efficace et durable et une économie des coûts d'exploitation.

SUMMARY

The increasing concern on thermal insulation and corrosion protection of industrial piping networks have led to the development of a new concept of prefabricated GRP insulating culverts. They provide efficient and durable protection as well as reduced operating costs.



UN NOUVEAU PROCEDE DE REVETEMENT DES ISOLATIONS INDUSTRIELLES LE PLASTIQUE,  
ARME ASSOCIE AUX ECONOMIES D'ENERGIE

AUTEUR : André GUINAUD

ADRESSE : WANNER ISOFI ISOLATION -  
92506 RUEIL MALMAISON FRANCE

INTRODUCTION

Il est maintenant acquis que le calorifugeage est un investissement rentable qui s'amortit en améliorant le rendement des installations thermiques industrielles, qu'il s'agisse de production, de transport, de stockage et de distribution de fluides énergétiques ou de produits élaborés.

En réduisant les échanges et en apportant une meilleure répartition des températures, il diminue considérablement les pertes calorifiques, (+ de 90 %).

Son rôle est devenu d'autant plus important qu'il entraîne dans le contexte du monde industriel actuel, de précieuses économies d'énergie.

ROLE DES MATERIAUX

Le calorifugeage se compose de deux éléments principaux dont chacun remplit une fonction distincte :

- L'isolation

Qui apporte l'économie fondamentale

- Le revêtement

Qui assure la protection indispensable à la conservation des propriétés physiques des matériaux isolants.

Ces isolants sont, en général, de structure fibreuse ou cellulaire ; ils sont, par nature de faible résistance mécanique. Ils ne peuvent supporter seuls les agressions de l'environnement, principalement les chocs mécaniques et l'humidité.

C'est donc le "REVETEMENT" qui doit protéger efficacement et durablement l'isolation.

Tout revêtement dégradé ou détruit entraîne en même temps la disparition partielle ou totale de la fonction isolation. Il s'ensuit souvent, en plus des pertes thermiques importantes, des conséquences graves pour l'installation elle-même, telle la corrosion du matériel.

On demande donc au revêtement d'assurer :

- Une protection mécanique
- Une étanchéité à l'eau ou à la vapeur
- Une bonne tenue aux agents atmosphériques, dont le rayonnement ultra-violet
- Une résistance à la corrosion chimique.

Il s'agit d'un ensemble de performances souvent difficile à réunir actuellement en un seul matériau, alors que les agressions auxquelles il doit faire face sont de plus en plus fréquentes.

Par exemple, il est connu que la corrosion touche la grande majorité de l'industrie chimique qui représente à elle seule environ 50% du marché du calorifugeage, et que les installations en bordure de mer sont de plus en plus nombreuses.

Dans un prix de calorifuge, la part de revêtement est variable selon sa nature et suivant le type de l'isolation.

Cependant, dans les exécutions courantes des installations thermiques, la part du revêtement mis en oeuvre peut atteindre de 50 à 70% du coût global du calorifuge.

La durée de vie d'un revêtement est très variable suivant les installations elle dépend aussi des travaux d'entretien, toujours onéreux, qui sont effectués.

Il s'agit donc d'un facteur économique important. Il mérite bien qu'on lui prête un intérêt particulier, surtout lorsqu'il est soumis à des sollicitations éprouvantes.

Dans les cas difficiles qui méritent une protection contre la corrosion ainsi qu'une très bonne étanchéité, on constate trop souvent une dégradation rapide du calorifuge.

Il était donc logique de rechercher un revêtement plus performant, répondant bien aux contraintes, et capable d'augmenter sensiblement la durée d'utilisation de l'isolation.

Pour obtenir ce résultat, le choix s'est porté sur les plastiques armés.

#### LE STRATIFIE VERRE-RESINE

Les stratifiés obtenus après polymérisation d'une résine THERMODURCISSABLE ayant imprégné une armature en fibres de verre, donnent naissance à des matériaux résistants, inertes et isolants.

La couche de surface en résine spéciale appelée "gel-coat" est teintée et ajoute au bel aspect final une garantie supplémentaire de comportement dans le temps de leurs propriétés.

Les stratifiés se caractérisent par :

- Leur légèreté
- Leur résistance mécanique
- Leur stabilité dimensionnelle
- Leur inertie chimique
- Leur pouvoir diélectrique

En fonction de l'objectif recherché et pour obtenir les performances souhaitées, il faut cependant veiller :

- Au choix des résines et des armatures
- A la qualité du gel coat
- A une bonne polymérisation
- A l'absence de tout phénomène de "bullage".

L'emploi du polyester armé n'est pas de date récente dans l'isolation ; mais il s'est souvent limité à des applications manuelles sur chantier, relativement onéreuses et de qualité irrégulière.

Pour ces deux raisons, il était donc normal d'étudier la réalisation d'éléments préfabriqués.

Cerevêtement représente donc un produit nouveau conçu spécialement pour le calorifugeage.

Il comprend :

- Un stratifié d'épaisseur variable suivant la dimension des éléments et qui peut être obtenu par l'imprégnation de fibres de verre :
  - . Soit à l'aide de résines standard ou isophtaliques
  - . Soit avec des résines spéciales comportant des charges pour une meilleure résistance au feu.
- Le gel coat obtenu à partir d'une résine isophtalique qui lui confère ses qualités :
  - . D'Etanchéité à la vapeur d'eau ( $< 0,05 \text{ g/m}^2/24\text{h.}$  )

- . De résistance chimique
- . De bonne tenue au U.V.
- . De résistance au défibrage et à l'hydrolyse

et lui apporte son aspect et sa couleur.

Entièrement élaboré en atelier et soigneusement étuvé, le produit est donc parfaitement polymérisé. Il est homogène et stable, ce qui permet de garantir ses performances.

#### DESCRIPTION

On distingue deux fabrications particulières :

- Les enveloppes cylindriques destinées aux tuyauteries droites
- Les pièces de formes utilisées pour la protection des accessoires, tels les coudes, les brides ou les vannes, ainsi que certains appareils.
- Enveloppes cylindriques

Contrairement à ce qui se faisait précédemment il ne s'agit pas de gaines minces obtenues par enroulement. En effet ce type de fabrication fournissait des produits dont la face extérieure, d'aspect irrégulier, ne constituait pas un support sain au gel coat appliqué après coup.

Un procédé original permet d'obtenir, en semi-continu, des tubes refendus de tous diamètres parfaitement lisses à l'extérieur et pourvus d'un gel coat d'épaisseur régulière.

Leur cylindricité rémanente ajoutée à une longueur développée bien calculée en font des gaines auto-refermables comportant un large recouvrement du joint longitudinal.

Ceci apporte un double avantage :

- . Une plus grande rapidité de pose
- . La possibilité d'utiliser, en jouant sur le recouvrement, une même enveloppe sur des tubes de diamètres différents ayant des épaisseurs d'isolation différentes et constituant une "famille" de diamètres isolés très voisins, tout en tenant compte des tolérances variables des différents produits isolants. Ceci limite donc sensiblement le nombre d'enveloppes standardisées.
- Pièces de formes standard

On distingue essentiellement deux types :

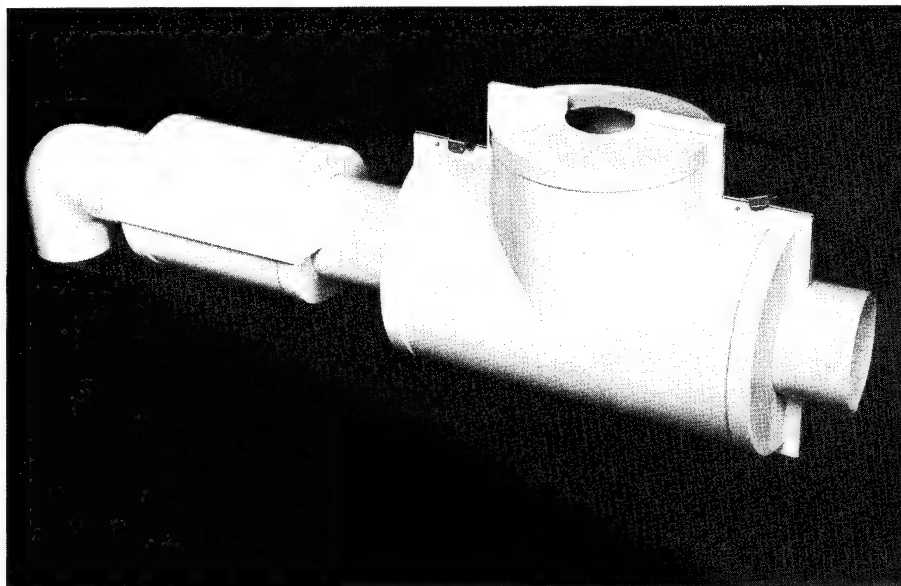
. Les coudes

. Les capots pour brides et vannes

Elles sont fabriquées en demi-pièces identiques qui s'assemblent, les premières à recouvrement, les secondes par l'intermédiaire de bords tombés.

La définition des formes des coudes a nécessité un important travail de calcul, car il a fallu tenir compte des différents rayons de courbure d'une même "famille" et éviter les réductions d'épaisseurs d'isolation principalement sur les génératrices extérieures. Les centres de ces rayons ont été décalés, les coudes ne sont donc pas des quarts de Tore, ils épousent au plus juste des contours de l'isolant et sont de pose facile.

Les formes des capots, cylindre pour les brides, TE pour les vannes, leurs confèrent une grande robustesse, une démontabilité aisée ainsi qu'une bonne esthétique.



## TECHNOLOGIE

L'utilisation d'éléments préfabriqués est une solution rationnelle, elle diminue les coûts de fabrication et réduit le temps de montage sur chantier

Pour cela il a été mis au point toute une technologie complétée par des règles de pose afin de pouvoir, sans difficulté :

- Mettre en oeuvre les éléments standard
- Modifier ceux-ci pour les adapter aux cas particuliers assez nombreux sur un chantier
- Réaliser des pièces spéciales à partir de composants standard (plaques, cornières, etc...)
- Stratifier sur place certains raccords

Il est possible d'obtenir une parfaite étanchéité des joints et des raccords. Ceci est indispensable dans les installations frigorifiques, mais cela permet aussi de protéger les matériels isolés thermiquement contre la pénétration d'humidité et la corrosion lorsque les équipements doivent être lavés au jet ou dans le cas de fonctionnement discontinu.

Sur des ensembles industriels, il peut ainsi être réalisé des revêtements efficaces et durables.

## APPLICATIONS

Ce revêtement trouvera ses applications dans les domaines d'utilisation pouvant faire appel à ses qualités spécifiques :

- Étanchéité à l'eau et à la vapeur d'eau
- Résistance à la corrosion et aux U.V
- Pouvoir diélectrique
- Résistance mécanique

Ce dernier point mérite d'être souligné.

En effet, le stratifié est un matériau à très faible module d'élasticité. Sous les chocs, il fléchit et reprend aussitôt sa forme initiale. Il évite ainsi les compressions d'isolation et l'accroissement des déperditions calorifiques, qu'entraîne habituellement la déformation permanente des revêtements rigides. L'installation y gagne en efficacité autant qu'en esthétique.

Il concerne donc :

- Les industries chimiques (engrais, pétrochimie...)
- Les industries alimentaires (laiteries, fromageries, salaisons...)

- La construction navale et les unités en bordure de mer
- Les installations de froid industriel
- Les industries utilisant des produits corrosifs (savonneries, tanneries, teintureries)
- Les problèmes d'anti-condensation
- Les cas particuliers du chauffage (tuyauteries aériennes, ou dans des caniveaux immergeables)
- L'electrogalvanisation - le décapage des métaux
- Les traversées de voies ferrées électrifiées
- etc...

En protégeant efficacement et plus longtemps l'isolant, en diminuant aussi les dépenses d'entretien et de remplacement, en protégeant également le matériel isolé, donc en abaissant les coûts d'exploitation un tel revêtement est véritablement un FACTEUR D'ECONOMIE.

. 0 .

GRP BASED EQUIPMENTS PROVIDES ECONOMICAL AND TECHNICAL  
ADVANTAGES FOR THE METAL AND MINING INDUSTRIES

Ing. P.D. SCHELLINCK

Assistant Sales Manager

Atlas Chemical Industries, Everberg, Belgium

SUMMARY

Resistance to chemical attack from corrosive environments commonly found in the metals extraction and in the chemical industries in general, has been well proven in both laboratory testing and actual field experience. Equipment using the bisphenol-A fumarate polyester, ATLAC, has been in service in many cases for over a decade and has conclusively shown design engineers that it has much to offer in terms of corrosion resistance, light weight, moderate price, and ease of installation. Corrosion control is purely and simply an economic measure.



# GRP BASED EQUIPMENT PROVIDES ECONOMICAL AND TECHNICAL ADVANTAGES FOR METALS AND MINING INDUSTRIES

P.D. SCHELLINCK

ATLAS CHEMICAL INDUSTRIES N.V., EVERBERG, BELGIUM

## 1. INTRODUCTION

Corrosion and product contamination have been difficult problems for the extractive metallurgy and metals treating industries throughout the world because of the corrosive chemicals used. During the past 20 years, other industries began to combat this problem using newer materials of construction, including glass reinforced plastics (GRP).

The general feeling among corrosion engineers is that on an international basis, only a relative small percentage of possible applications of GRP were being used today and that is no doubt costing the industry a fortune. One can summarise various reasons for the limited acceptance of GRP :

- (1) the uncomfortable feeling of using GRP equipment;
- (2) the unfortunate experiences with GRP in the past at various locations, possibly misapplications of poor fabrication and overestimating the limits with GRP; and,
- (3) a lack of knowledge of the potential of GRP which results in the use of only a small portion of GRP where actually our engineers should be using it on a cost / performance basis.

## 2. GRP : A MATERIAL OF CONSTRUCTION

Just twenty-eight years ago, a Speciality Chemicals Division research team at Atlas Chemical Industries, daughter company of ICI Ltd., Research and Development Center in Wilmington, Delaware, U.S.A., developed and patented the first bisphenol-A fumarate polyester resin : ATLAC.

Two large chemical companies -- Monsanto and DuPont -- pioneered the use of ATLAC polyester resin in process equipment. Today, equipment fabricated with ATLAC resins is found world-wide and ATLAC is manufactured in several countries and available virtually everywhere.

Because of the variety of corrosive conditions encountered in industry, engineering design and specification of materials and methods of construction are critical. Several resins are available, as are several fabrication methods.

In selecting GRP as a material of construction, design and materials engineers have found the following advantages :

- (1) GRP often offers better corrosion resistance to specific environments and temperature than other materials of construction, thus providing long service life with less maintenance and down time due to corrosion failure.
- (2) The high strength to weight ratio of GRP facilitates handling during transportation and installation, thus reducing costs.
- (3) The initial cost of GRP structures is often lower than alternate materials, particularly when exotic alloys would be required.
- (4) Complex shapes are more easily fabricated in GRP than in metals, thus providing both design flexibility, and reduced fabricating costs.
- (5) GRP equipment can be fabricated on site, or can be brought to the site in sections and joined in the plant. This is a distinct advantage when the piece of equipment is large, must be installed in crowded areas, or where plant entry is too small to pass the equipment.
- (6) Minor repairs are relatively simple and inexpensive, and can be done without removing the equipment. Exterior painting for the protection of the structure is unnecessary.
- (7) When not pigmented, GRP structures are translucent. This allows operators to view the liquid level in tanks or flows in pipelines without the need for measuring devices.
- (8) GRP equipment can be fabricated with "flexible" or resilient resins, thus reducing the possibility of damage during shipment or installation, and affording protection against thermal shock.
- (9) In some applications, the electrical insulating properties of GRP, and its resistance to galvanic or stray electrical current is a desirable additional safety factor. Mechanical grounding can be accomplished if required.
- (10) GRP structures provide excellent thermal insulation factors, often resulting in a reduced need for additional insulation and reduced energy or power costs.
- (11) Several GRP resins meet the requirements of FDA Regulation 1212576, as well as Meat Inspection Division and 3-A Sanitary Standards for the Dairy industry (in the U.S.A.).
- (12) Reinforced plastics are also used as protective linings in cases where it is not practical to fabricate the structure from a total GRP laminate.

### 3. MECHANICS OF CORROSION : GRP VS METALS

Corrosion of metals vs GRP is considerably different as shown in the following table. The intention hereby is not to define in detail the various types of corrosion, but rather merely point out the main different types.

#### 1. Corrosion on Metals

- General corrosion where the thickness of metal is gradually reduced
- Galvanic
- Aerobic
- Pitting
- Dezincification
- Graphite and intergranular corrosion

#### 2. Corrosion of Non-metals

- Swelling
- Destruction of resin phase by chemical attack such as hydrolysis, oxidation, or pyrolysis
- Loss of adhesion between resin and reinforcement
- Destruction of reinforcement : in the case of glass fibres by strong alkali or hydrofluoric acid attack
- Any combination of the above

There are many causes of corrosion, most notably :

- 1) chemical environment, 2) temperature, 3) vibration, 4) cycling, 5) abrasion, and 6) electricity.

Of these many causes, the two major ones are No. 1 and 2. It is very important to understand that No. 3 through 6 can greatly accelerate the corrosion process in both metals and GRP when combinations exist.

Years of research have been spent in studying, analyzing, and measuring exactly what occurs in electrolytic and galvanic corrosion; and, it appears that the real "cancer" of corrosion is electricity. Remove the "cancer" and the result will be greatly reduced corrosion.

By using GRP equipment electrolytic or galvanic corrosion cannot occur. It is, therefore, ESSENTIAL that wherever possible, GRP should be used. It is essential that we "think" GRP from the design stage on because it is essential that we reduce corrosion costs in both the metal and mining industry as in the chemical industry in general.

One of the real problems that we face is that most attempts at solving corrosion problems is approached from a metallurgical stand-point, failing to realize that many times, a GRP solution is not only available but also the most long term and economical.

#### 4. MINERAL MINING INDUSTRY

Ore extraction processes present design engineers and operating plants with some severe corrosion problems. Only some 5 years ago, the ore processing industry considered corrosion much like bad weather. Corrosion was costly, but there was little that could be done about it. The equipment (large extraction vessels, storage tanks, piping, etc.) comes in contact with acids such as sulfuric and phosphoric, organic solvents like isodecanol and kerosene, and various combinations with inorganic salts. Those materials of constructions that would offer some protection against these corrosive agents were alloys, so expensive that in many cases they were economically unfeasible. As a result, conventional materials of construction such as carbon steel remained in use, despite high maintenance and repair costs and the frequent need for replacement. Fortunately, moderately priced GRP equipment has been well proven in actual service.

While laboratory testing for corrosion resistance per ASTM C-581 is important, it is not "real life". Conditions are constant in the lab, while in actual service, temperatures fluctuate; changing liquid levels will alternate wet, dry, and vapor conditions; and the equipment bears physical stresses not endured by a small laminate coupon in a laboratory bath. Therefore, it is important to note that of the equipment that has operated successfully for some years, the great majority has been fabricated using the Bisphenol-A fumarate polyester type of resin.

In this paper we will present both laboratory and actual case history data covering three basic processes :

- (1) The solvent extraction of materials like uranium and molybdenum from ore,
- (2) Solvent mining (in situ extraction), and
- (3) Extraction of uranium from phosphate rock used in fertilizer production.

This last named is very much in the headlines today because of the new equipment being built and installed in phosphate areas in the world. The process, however, is not new. It has been long known that small quantities of uranium were in these phosphate deposits, but not until the recent increase in demand for uranium (coupled with sharp price increases) has it been considered economically feasible to extract the uranium.

#### 4.1. Laboratory Data

Resistance of GRP made with Bisphenol-A polyester resin of the ATLAC 382 type has been well documented for many years with regards to many common chemicals such as sulfuric acid. Test results for combinations of chemicals used in metals extraction processes have not been as well publicized. Two ply laminates were tested in the laboratories of ICI Americas, using the industry standard, ASTM C-581 with the results as noted in table I. These data indicated that glass reinforced polyester would be suitable for all of these environments.

#### 4.2. Extraction from Ore

A typical schematic for this process is shown in Figure 1. An extensive amount of GRP has been used in similar plants. The ore in a typical process is first extracted with dilute sulfuric acid along with other chemicals to dissolve the uranium and other metals into the aqueous phase. These extractions, however, lead to very dilute solutions. It is therefore necessary to concentrate them. The method generally used is a solvent extraction process. While individual plants use their own proprietary solvent extraction systems, some common parameters are encountered. The bulk of the extraction medium is usually a high boiling kerosene. Various additives are used to enhance the solubility of the uranium or other metal ores into the organic phase.

The plant of Atlas Minerals Division of Atlas Corp. at Moab, Utah, has a great deal of GRP made with ATLAC.

Equipment such as extraction settlers, 13 m long, 2.75 m wide and 2 m deep, are constructed in GRP. Weighing over 2.270 Kg each, they were fabricated and shipped as single units. Fifteen of these, with auxiliary equipment, cover an area the size of a football field. Other GRP equipment at this plant includes :

- mix tanks to 4.800 litres
- support tanks holding necessary supplies of kerosene and sulfuric acid
- much piping

The mill produces uranium and vanadium. The equipment has been in service for over 5 years and shows no sign of corrosive attack, and in fact should last indefinitely. In installations of this type, troubles that do occur are often traced to cracks or damage that occurred during installation, not attack on the resin-rich, corrosion-resistant surface.

Installation of a very similar group of GRP equipment is installed at the Ranchers Exploration and Development Corp. site in Natarita in Colorado. The Ranchers plant has been operational for about two years..

#### 4.3. In-situ Extraction

A somewhat newer process for the extraction of valuable minerals such as uranium is the in situ extraction process.

Figure 2 shows the basic outline of this process. In this process, the ore to be processed is not "mined". Through a series of injection and extraction wells, the solutions which extract the minerals from the ore are pumped down into the ground and back up again. While the concentration of the mineral from this dilute extract may be somewhat different than the conventional method, many of the same problems and same chemical environments are encountered. This process, again, has made much use of GRP structures fabricated out of corrosion resistant resins such as the ATLAC resins.

Ion exchange columns are made with GRP at a plant of Wyoming Mineral Corp. in Texas. In the first columns the uranium ions are stripped from the leaching (dissolving) solution and become attached to the resin which moves down the column counterflow to the solution. The dissolving solution, its uranium now removed, is reconstituted with reagents and pumped back to the injection wells. The loaded resin is withdrawn at a controlled rate and transferred to the top of an elution column. Here the resin moves down the column counter to the flow of another solution that strips the uranium from the resin. The resin is then returned to the top of the extraction column to begin the ion exchange once again.

Finally, the concentrated uranium solution is pumped to tanks in which the uranium is precipitated. The precipitate is then either dried on-site and packaged before shipping or shipped off-site as a slurry for drying and packaging.

At the Gulf Mineral Resources Company installation at Rabbit Lake, Saskatchewan, Canada, fourteen envelop or "drop-in" liners have been fabricated using polyester resin. The difficult environment includes sulfuric acid (pH 1.5) isodecanol, kerosene, and traces of a tertiary amine. The tanks have functioned for over three and a half years with no down time. Less than \$100 for minor maintenance has been required during that time. Gulf is presently engineering a new installation at Mt. Taylor, New Mexico.

#### 4.4. Uranium from Phosphoric Acid

It has been known for some time that phosphoric acid as it is normally produced contains small amounts of uranium, typically at levels of 0.05 %. Previous efforts to recover the uranium proved uneconomical, but with the increasing price of uranium and improved processes, it now becomes profitable to recover this material as a by-product from the production of wet process phosphoric acid. There are several processes; a typical one is shown in Figure 3. Since most operations are either in the construction or planning stage at this time, we have no case histories of use of GRP in this process. However, the environments are quite similar to those found in the other extraction processes except for the wet process phosphoric acid rather than sulfuric acid solutions. However, resistance of the bisphenol-A fumarate polyester resin to phosphoric is well documented both in laboratory tests and field experience, much of it in the very same phosphate industry centering in for instance the Polk and Hillsborough counties in Central Florida.

At Davidson Chemical Division, W.R. Grace and Co. in Bartow, Florida, reinforced plastic ductwork exhausts corrosive fumes from a storage shed, where run-of-pile triple superphosphate is cured. Approximately, 80 tons per hour of ROP triple superphosphate is readied for shipment at the shed.

The ducts run from six exhaust points along the upper section of the outside of the shed and feed into a manifold, which is supported on a horizontal walkway close to the top of the building. All the ductwork - exhaust, manifold, lead to scrubber, sample fume carrier, and transition - are cylindrical reinforced bisphenol-A fumarate polyester structures ranging from 500 to 950 mm in diameter. In the building interior, leading into each of the exhaust ducts, are six bell-shaped receivers, also fabricated from ATLAC 382.

For purification, the fumes are delivered by the duct system into a scrubber on ground level. The scrubber, a cyclonic type, is a relatively small unit 18 m high and 3,2 m in diameter, with a capacity of 30,000 cfm. The scrubber is also constructed from reinforced polyester resin.

The fumes, emanating from the triple superphosphate pile being cured, are highly corrosive. Silicon tetrafluoride is formed in the pile, and hydrolyzes with the moisture in the air to form fluosilicic acid. Instead of remaining in the pile, as might be expected, the fluosilicic acid enters the atmosphere. Because of the large mass of pile and concentration in an enclosed area, the fluosilicic acid fumes must be removed and treated.

The only other practical solution to the fume collection problem would have been through ducts constructed from rubber-lined steel. This construction would have involved a substantially larger initial investment, and the duct would have been subject to complete disintegration if a break in the rubber lining occurred.

Stacks, launders, baffles, scrubber grids, and tanks are among the equipment of GRP used by a dozen plants in this area.

Phosphoric acid itself is a well-proven environment for GRP. A tank at ICI's own plant at Atlas Point, Delaware, is holding phosphoric acid and has been in maintenance-free service since 1962.

So even though the plants to extract uranium from phosphoric acid are not yet operational, design engineers are proceeding with confidence to specify much reinforced polyester equipment, based on its proven success in both the solvent extraction of metals and the phosphate / fertilizer industries.



## 5. METAL MINING INDUSTRY

Progressive companies in the steel and allied metals fields, though fully aware of the corrosion resistance of materials such as stainless steel, were among the first to adopt the then new material of construction - reinforced plastic - when it was first introduced.

In such operations as the acid pickling of steel strip and wire, or in plating of metal, they found that the corrosive solutions and fumes caused costly equipment repairs, high maintenance expense, and serious damage to plant building structures.

Often at lower initial cost than comparable metal equipment, reinforced plastic tanks, hoods, ducts, and recently, process towers, have withstood a variety of corrosive environments for years where other materials failed in a matter of weeks. Fabricators used our ATLAC 382 polyester resin (frequently at the user's request) because of its superior performance in severe corrosive applications.

Corrosion and product contamination have been difficult problems for the extractive metallurgy industries because of the aggressive chemicals used, and like other industries, particularly chemical and paper, they combat corrosion by using newer materials, including GRP.

### 5.1. Laboratory Data

Table II shows results of corrosion tests for several chemicals frequently encountered in metal mining processes such as leaching, flotation, solvent extraction, and waste handling.

Of the test group, only the 5 % nitric acid is a questionable environment at 95 °C for the structures of ATLAC GRP, due to poor appearance of the test laminate. Pyridine is not a recommended environment.

### 5.2. GRP in Pickling Processes

Typical of the advanced application of GRP in metal processing is its adoption for the HCl strip steel pickling process. Reinforced ATLAC 382 is recommended and used because of its good resistance to hydrochloric acid (11 % solution at 80 °C), and high structural strength.

The ability of ATLAC resins to withstand aggressive chemicals used in this industry, has been well documented, as seen in the selection of case histories printed in various issues of our literature.

### 5.3. GRP in Fume Handling Systems

A great deal of attention has been given to the use of GRP in fume handling equipment for service in high temperature environment. Case histories and laboratory studies have shown that GRP will perform satisfactorily in environments well beyond 95 °C. Temperature service for fluids ranges from a high limit of 80 °C to 120 °C to a low of -50 °C according to the resin used and the chemical service involved. However, in gas service temperatures of 200 °C or higher may be tolerated as the heat transfer and chemical reaction between polyesters and gases is poor.

For example, in the gas cooling and cleaning tower at the copper ore refining plant of Sumitomo Mining Company in Japan, the tower's shell is of reinforced ATLAC with heat-resistant stone in the roof. The unit replaced a lead-lined brick tower in 1967, handling incoming fumes at 225 °C, yet there has been no appreciable material degradation.

GRP finds extensive use as a construction material for hoods, ductwork, fan and blower housings, scrubbers and stacks.

### 5.4. ATLAC Flooring

In the Aerospace Components Division of Atlas, ICI US, we not only use our ATLAC in GRP exhaust ducts and an external stack for a plating area, but also in a floor covering for the basement under the area. Here the floor is almost constantly wet with corrosive spillage. It costs about half as much as acid brick would have.

ATLAC flooring, comprising a mixture of aggregate and ATLAC resin, has been applied by South African flooring contractor, Zendon, as a tough, highly corrosion resistant replacement to epoxy in the ammonium nitrate bulk stores of the Isoor Sishen mine in Northern Cape.

A formulation of the flooring was developed by AECI Engineering Company Ltd., based on a special flexible resin blend, called ATLAC 3525 A.

## 6. ECONOMIC CONSIDERATIONS

Even using the highest performance resins it is possible to manufacture GRP tanks, ducts, pipes, launders and agitations more cheaply than dimensionally similar equipment in lined steel or stainless steel. However, if sizes or pressures become excessive than line systems might become practically or economically more acceptable.

### 6.1. Corrosion control : an economic necessity

Corrosion control is purely and simply an economic measure. The only justification for its practice is that it pays off in money.

Corrosion control saves, over the long run, more money than it costs. Money invested in stopping corrosion earns a profit. If the profit or return on a corrosion control program is shown to be greater than that which may be earned by investing the money elsewhere, the expenditure is justified. If not, the program is economically unsound, even if it does save more money than it costs.

Unfortunately, the corrosion engineer and management often do not speak the same language. The engineer is so close to the problem that he cannot look at it as objectively as the boss. Management is interested in technical considerations only insofar as they affect the major issues : how much will a project save, how much will it cost, when does the money have to be spent, and, are we talking about expenses or capital ?

When you come to assess the value of a contemplated corrosion control program you must have some means of comparing quantitatively the relative merits of alternative approaches, and of deciding if any of them is cheaper than doing nothing until you have to. Now, when you start reducing engineering into dollars and cents, a lot of important considerations emerge which might otherwise be overlooked.

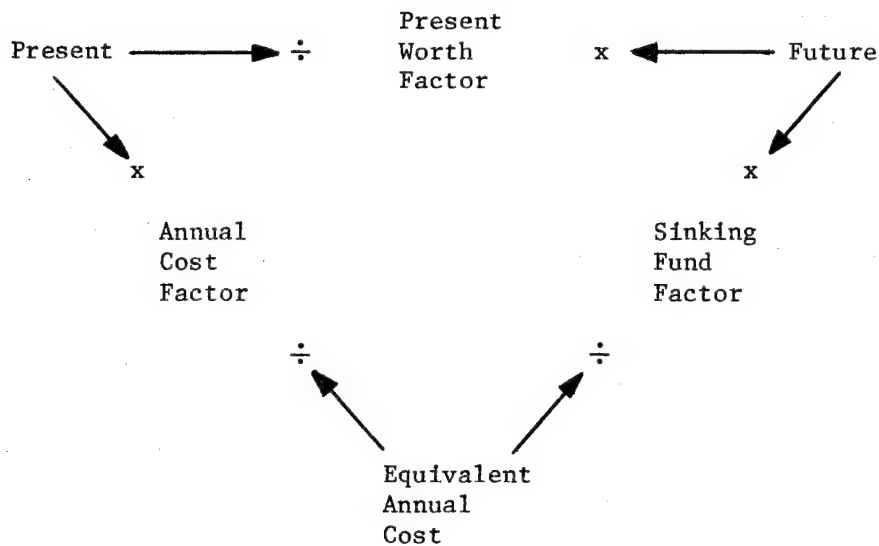
Sometimes, these make all the difference to the apparent feasibility of a program. Of vital concern are the interest rate, the tax rate and the depreciation schedule.

Because our commercial world is dominated by the inexorable fact of interest payments, the timing of any contemplated expenditure (or return) is vital.

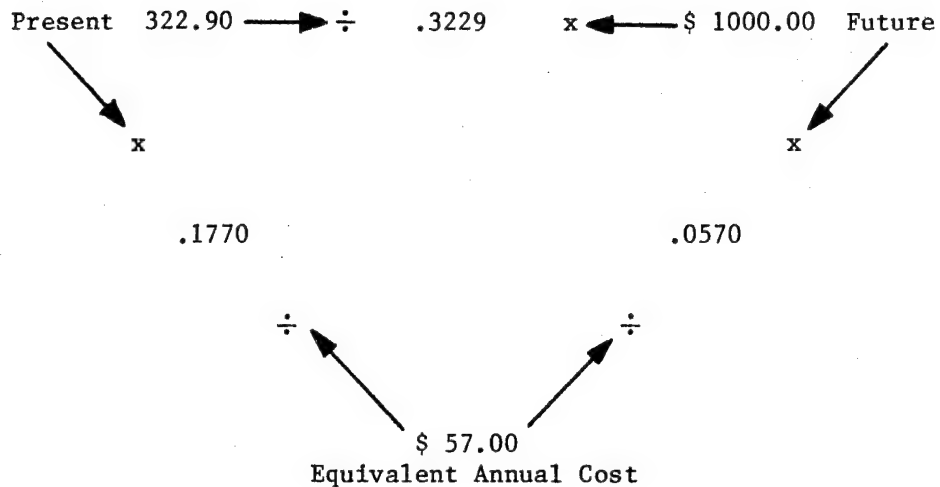
There are two ways to pay for anticipated costs in the future :

- (1) you can earmark enough money now to pay for the anticipated expenditure later;
- (2) you can borrow the money now to fund the scheme later and pay the bank an equal annual installment which will pay back both interest and capital over the life of the project. This is like a mortgage payment.

At 12 % interest, a payment of \$ 1000.00 ten years hence costs either \$ 322.90 now, or \$ 57.00 per year. The economists have worked out easily used tables of factors which convert any sum of money at one point in time to the equivalent sum at another point in time (Tables III, IV and V).



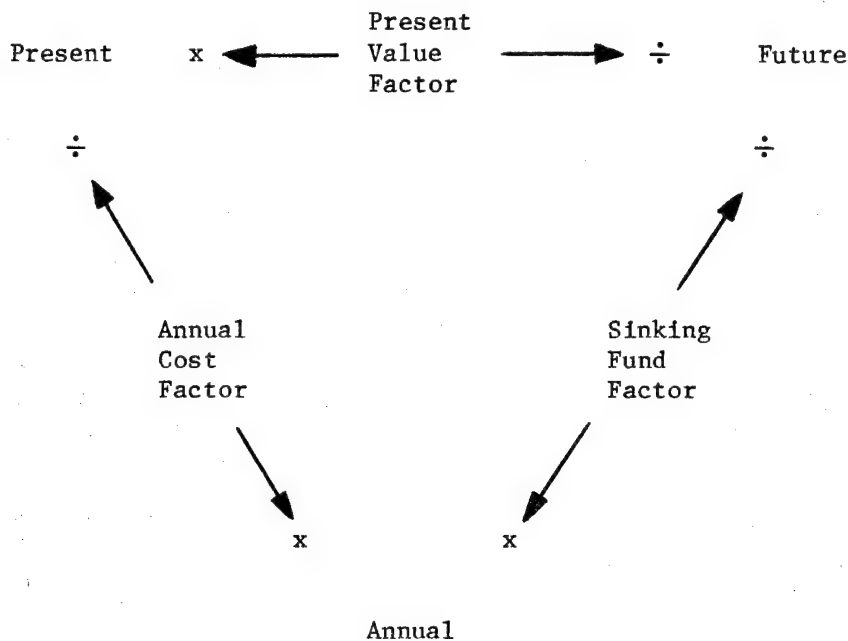
Thus,



There are quite a lot of systems for evaluating projects economically and these vary from the naïve to the incomprehensible. These include the concept of "Pay out", "Return on Gross Investment", "Return on Average Investment", "Profitability Index" and the "MAPI Method". These tend to be either invalid, misleading, or unduly laborious. The one discipline which has the widest acceptance is the "Discounted Cash Flow" system or DCF.

## 6.2. Discounted Cash Flow System (DCF)

One of the simplest and most flexible of these systems, a form of DCF, is based on converting all payments associated with a project to the "Equivalent Annual Cost". This makes it possible to compare alternatives of differing lives because the annual payments fund this program in perpetuity and provide capital for infinite replacement. This does not mean, however, that you expect to continue the program forever. You can stop at the end of any cycle and the comparison is still valid.



Taxes paid to various governments swallow about 50 % of most companies' income, but the tax is calculated on net profit, after the usual expenses incurred in the conduct of the business. This means that such expenses are, in effect, tax-free, and one dollar of expense only costs 50 cents because of the tax credit.

Capital costs, on the other hand, must be written off over a long period of time, and while there is some tax credit on capital expenditures, it is not nearly as great as that realized on "expenses" such as maintenance. Such tax credit is governed by the depreciation schedule imposed or allowed by the government for taxation purposes. There are several schedules recognized in various tax laws and several others adopted by companies for their internal control, but whatever the local government dictates, is the only schedule which has validity for economic appraisals.

Straight Line Depreciation is based on spreading the depreciation over an arbitrary life and writing off equal amounts each year. Thus a \$ 1000.00 capital expense might be written off over 10 years at \$ 100 per year. Each of these \$ 100 "expenditures" is characterized as an "expense" and is not taxable in that year.

The Sum of Digits Method depreciates capital at a greater rate in the first few years and at a lesser rate as time goes on. Again, an arbitrary life is assumed and a decreasing fraction of the value is written off each year. The following example will explain the arithmetic :

Say the chosen depreciation period is 5 years and the capital expenditure is \$ 1000.00 :

Total the digits :  $1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15$

Year	Write-Off	Remainder
1	$5/15 \times \$1,000 = \$ 333$	\$ 667
2	$4/15 \times \$1,000 = \$ 267$	\$ 400
3	$3/15 \times \$1,000 = \$ 200$	\$ 200
4	$2/15 \times \$1,000 = \$ 133$	\$ 67
5	$1/15 \times \$1,000 = \$ 67$	\$ 0
	<u>\$1,000</u>	

After the fifth year, the item is fully depreciated whether it is still in use or not.

The Constant Percentage of a Declining Balance Method depreciates capital assets by an equal percentage of their undeprciated value each year. For instance, if an asset worth \$1000 is to be depreciated at 20 % :

Year	Write-Off	Remainder
1	20 % of \$1,000 = \$ 200	\$ 800
2	20 % of \$ 800 = \$ 160	\$ 640
3	20 % of \$ 640 = \$ 128	\$ 512

The series goes on forever like the life of uranium, but most of the value is taken in the first few years and it is easily treated mathematically.

These three methods are the most widely used. Note that with the first two systems, assets are fully depreciated over an arbitrary period. If the item is sold or scrapped before the period has expired, the remaining depreciation may be taken in the final year, or the schedule may continue year-by-year to the end of the term even though the asset is gone. When the remaining value is taken in the last year of the asset's life, the schedule is called "irregular", and if the arbitrary terms is adhered to, it is called "regular". The tax audit for irregular schedules is greater than that for regular ones because the write-off is sooner. Values for the tax credit factors for both types may be found in standard economic texts.

The constant percentage method is always regular in that it goes on forever long after the asset is gone, which means that the tax credit is a constant for assets of any one class and at any one interest rate. No matter what schedule is used, expense money is always cheaper than capital money.

The interest rate to use in these economic calculations is the rate that you could earn by investing the money instead in the most profitable way available such as by expanding your business.



This assumes quite reasonably, that most businesses have limited resources and that if money is spent for one project it will not be spent on another. Bank interest rates are, of course, too low because you must be able to pay the bank for borrowed money and still make a profit with it which will satisfy shareholders. Inflation can be accounted for merely by reducing the interest rate by the assumed annual inflation rate.

Calculations may be made using different interest rates and depreciation and tax rates. The factors for the "time" transformations and for different depreciation schedules may be found in standard economics texts or calculated from the formulae given. "A Practical Manual on the Appraisal of Capital Expenditure", by C.G. Edge, is especially valuable.

### 6.3. Cost / Performance Advantages of GRP

Properly specified, designed, fabricated, and installed GRP can provide lower purchased cost, lower installation cost, and long reliable service.

To obtain the cost / performance advantages of reinforced plastics, a company needs to take the following actions :

- (a) Have an in-house GRP specialist;
- (b) Develop a list of qualified fabricators by job type and size;
- (c) In requests for bid, specify what you require, that you want and require quality, that inspections will be made at the fabricator's plant on all but minor purchases, and that equipment must be properly placed for shipment.
- (d) Do not automatically buy the low bid. Analyse quotations carefully and buy from the bidder with the lowest price on equipment that you know will give dependable service.
- (e) Secondary lay-ups that are used to join previously cured sections together MUST and can be the strongest and most corrosion resistant part of GRP equipment. By design and inspection make sure yours are.
- (f) Inspect equipment before and after installation. Has any damage been repaired before putting equipment in service.
- (g) Be sure installation is according to standards.

## 7. CONCLUSIONS

It has been an objective of this paper to bring the metal and mining industry's attention to these applications :

- (1) to reaffirm the many years of successful usage;
- (2) to inspire confidence for future decisions to use GRP, and
- (3) to make the industry aware of the cost savings available by using GRP.

## 8. SUMMARY

Resistance to chemical attack from corrosive environments commonly found in the metals extraction and phosphate industries has been well proven in both laboratory testing and actual field experience. Equipment using the Bisphenol-A fumarate polyester (ATLAC) has been in service in many cases for over a decade and has conclusively shown design engineers that it has much to offer in terms of corrosion resistance, light weight, moderate price, and ease of installation.

## 9. REFERENCES

- \* T.F. Anderson, R.C. Flynn, K.J. Oswald and E.J. Wolf.  
" Use of Nonmetal Materials of Construction in Pulp Mills ".  
By the Nonmetals Task Force of the Tappi Corrosion and  
Materials Engineering Committee. NACE 1977.
- \* D.M. Longenecker, R.H. Fowler and Dr. J. Feltzin.  
" FRP Corrosion Resistance in Ore Extraction Processes ".  
34th Annual Technical Conference, 1979 Reinforced Plastics /  
Composites Institute (SPI).
- \* J. Yovino Jr., and E.J. Castello.  
Reinforced Plastic : " Corrosion Resistant Material of  
Construction for the Pulp and Paper Industry ".  
A paper before the NACE, April, 1966.
- \* A. Walz, " L'Utilisation de Plastiques Renforcés dans une  
Usine d'Uranium ".  
Extrait de "Corrosion", Vol. 20 - No. 2, Mars 1972.
- \* ICI Americas Inc., Speaking Out : " Special Mining and  
Metals Issue ".
- \* T.R.B. Watson. " Economic Evaluation of Corrosion Control ".  
A paper before the NACE, Pulp and Paper Industry corrosion  
problems, 1977.
- \* C.G. Edge. " A Practical Manual on the Appraisal of Capital  
Expenditure "., The Society of Industrial and Cost Accountants  
of Canada, (1970).
- \* J. Shackleton. " Reinforced Polyester Pipe reduces Maintenance  
& Replacement Costs "., Paper Trade Journal, Dec. 4, 1967.
- \* S. Pozzoli and F. Mapelli. "PRFV A Base Di Atlac Risolvono  
Problemi Di Corrosione Nell Industria Mineraria e Metallurgica ",  
(1979). GRP Symposium Milano 1979.

FLOW SHEET FOR SOLVENT EXTRACTION PROCESS DURING VERY  
EXTENSIVE USE OF GRP EQUIPMENT



FIGURE II

BASIC OUTLINE OF IN-SITU EXTRACTION

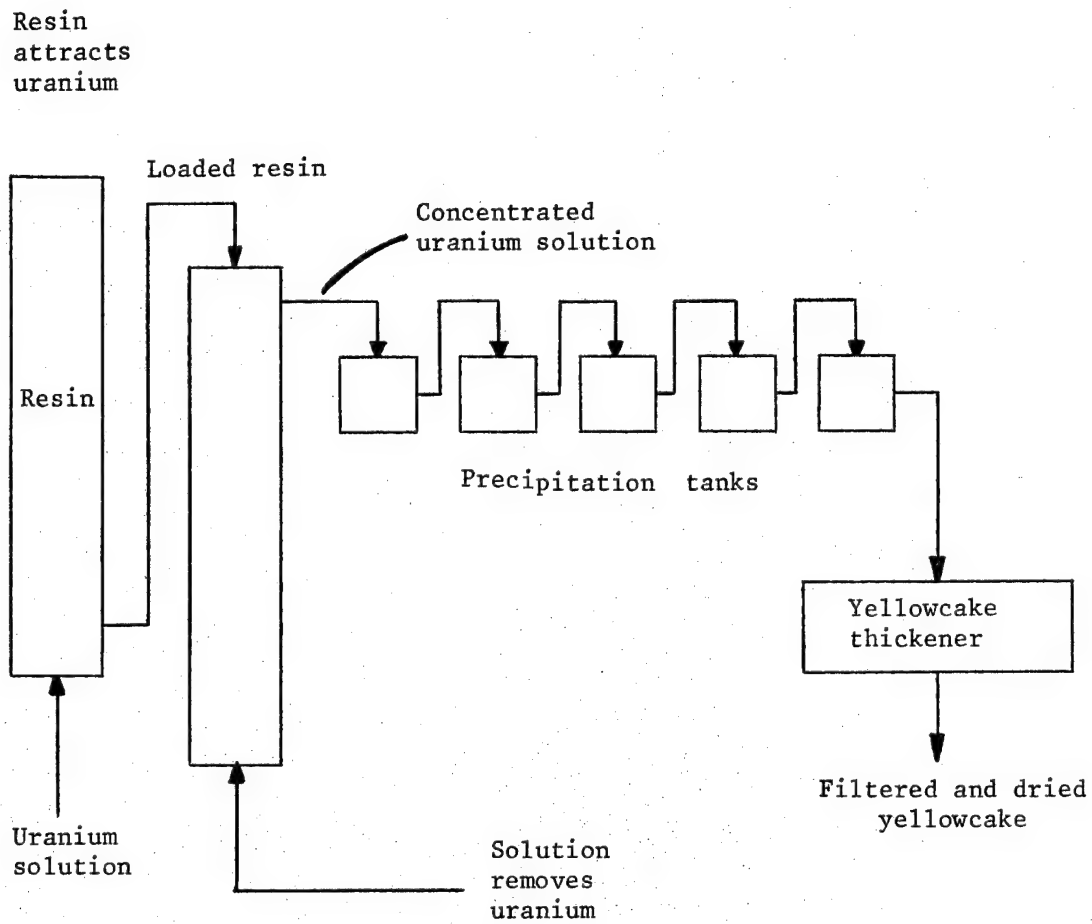
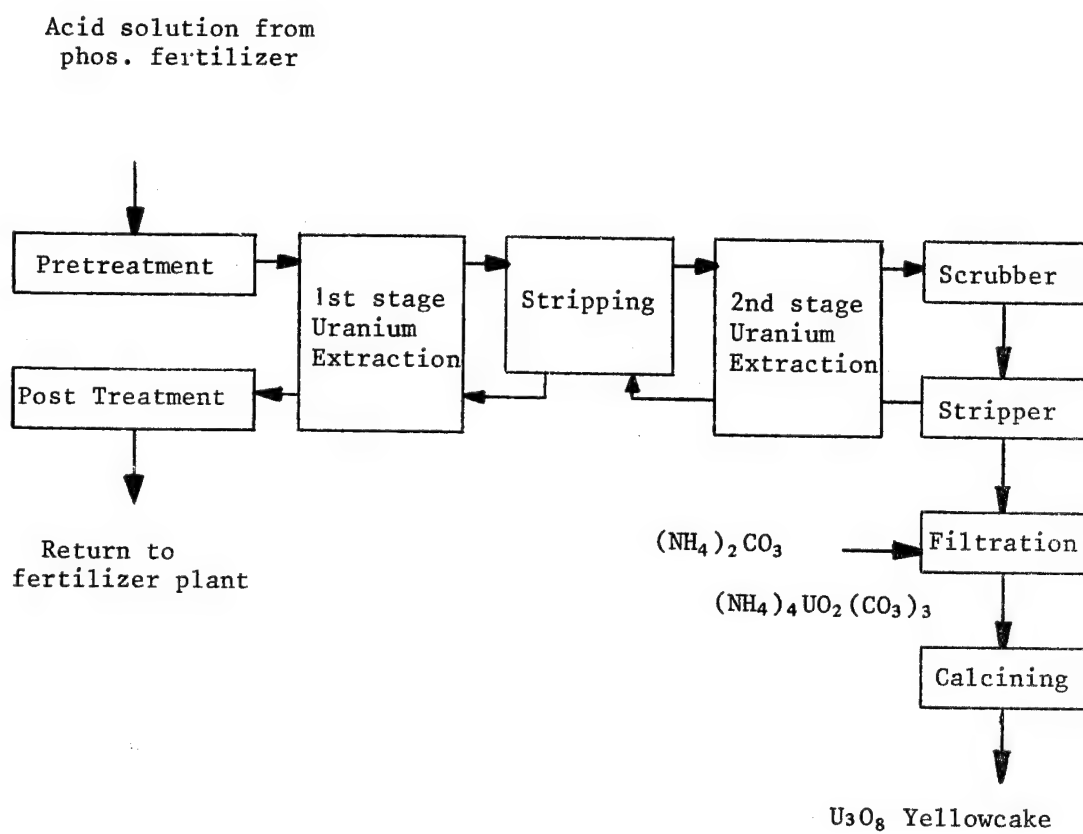


FIGURE III

A TYPICAL PROCESS EXTRACTION OF URANIUM FROM PHOSPHORIC ACID



T A B L E    I

LABORATORY CORROSION TEST RESULTS FOR COMBINATIONS OF  
CHEMICALS USED IN METALS EXTRACTION PROCESSES

<u>Equipment</u>	<u>Test Temp. °C</u>	<u>% Ret. Flex.</u>	<u>% Ret. Mod.</u>	<u>Barcol</u>	<u>Appearance</u>
Diethyl hexyl- phosphate / 20 % in Kerosene	Ambient	110	101	36-42	Good
25 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	65	85	104	39-42	Good
0.05 M diethyl- hexyl phosphoric acid and 0.125 M trioctyl phosphine in Kerosene	Ambient	99	101	40-42	Fair
20 % NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	95	73	93	32-35	Good
Sat. FeSO <sub>4</sub> / 10 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80	89	98	33-37	Good
0.5 M dioctyl phenyl phosphoric acid in Kerosene	Ambient	107	102	38-42	Fair
20 % Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> / 15 % NaHCO <sub>3</sub>	80	95	98	32-38	Good
15 % Ca(OH) <sub>2</sub>	65	92	96	37-39	Fair
25 % Molybdic acid	65	88	96	33-36	Good
5 % NaOH	80	53	83	23-31	Fair
25 % H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80	90	100	30-38	Good
15 % HCl	95	79	87	34-38	Good



T A B L E    II

CORROSION TESTS FOR SEVERAL CHEMICALS FREQUENTLY USED  
IN THE METAL MINING PROCESS

---

<u>Equipment</u>	<u>Temp.</u> <u>°C</u>	<u>% Ret. Flex.</u> <u>12m    6m</u>	<u>% Ret. Mod.</u> <u>12m    6m</u>	<u>Barcol</u>	<u>Appearance</u>
2 % NaOCN	80	60    71	88    85	24-36	Good
NaCO <sub>3</sub> NaHCO <sub>3</sub>	80	81    95	96    98	29-36	Fair
25 % NaCO <sub>3</sub>	66	73    85	104    105	38-42	Good
20 % di 2-ethyl- hexyl H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> in Kerosene	Ambient	106    110	101    116	36-42	Good
Pyridine	Ambient	deteriorated in two months			
15 % HCl	80	68    83	82    87	35-37	Good
5 % NaOH	66	71    80	83    92	26-29	Fair
5 % HNO <sub>3</sub>	95	51    66	38    89	0-2	Poor

TABLE III

PRESENT VALUE FACTORS

12 % Interest

<u>Y e a r</u>	<u>P V</u>
1	.8929
2	.7972
3	.7118
4	.6355
5	.5674
6	.5066
7	.4523
8	.4039
9	.3606
10	.3229
20	.1037
50	.0035

$$PV = F \cdot \frac{1}{(1 + i)^n}$$

T A B L E   I V

A N N U A L   C O S T   F A C T O R S

12 % Interest

---

<u>Y e a r</u>	<u>A C</u>
1	1.1200
2	.5917
3	.4164
4	.3292
5	.2774
6	.2432
7	.2191
8	.2013
9	.1877
10	.1770
20	.1339
50	.1204

---

$$AC = PV \cdot \frac{1(1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$$

TABLE V

SINKING FUND FACTORS

12 % Interest

<u>Year</u>	<u>S F</u>
1	1.0000
2	.4717
3	.2963
4	.2092
5	.1574
6	.1232
7	.0991
8	.0813
9	.0677
10	.0570
20	.0139
50	.004

$$SF = F \cdot \frac{1}{(1 + i)^n - 1}$$

## NEUE ERKENNTNISSE BEI DER HÄRTUNG DICKWANDIGER

### GF-UP-FORMTEILE

Mr A. MAXSTADT

Anwendungstechnik Härtung UP-Harze

Peroxyd-Chemie, Höllriegelskreuth bei München, Germany

### ZUSAMMENFASSUNG

Die üblicherweise verwendeten Kalthärtungssysteme für ungesättigte Polyesterharze führen in dickwandigen GF-UP-Laminaten zu hohen Temperaturspitzen was zur Schädigung und Zerstörung solcher Lamine führen kann. Besondere Härterssysteme ermöglichen einen schonenden Reaktionsverlauf, ohne dass die Reaktionszeiten verlängert werden und ohne dass die Endigenschaften gemindert werden. Der Vortrag berichtet über mehrjährige praktische Erfahrungen sowie über neue Erkenntnisse bei der industriellen Herstellung solcher Teile.

### SUMMARY

Curing systems for unsaturated polyester resins, which are normally applicated at ambient temperatures may cause deterioration and destruction of thick GRP laminates due to high peak exotherms. Special curing systems perform a smooth reaction without prolongation of reaction times and without harm to the final property. The paper reports the practical experience of several years in the industrial production of thick laminates and latest achievements.

## Neue Erkenntnisse bei der Härtung dickwandiger GF-UP-Formteile

Alexander Maxstadt

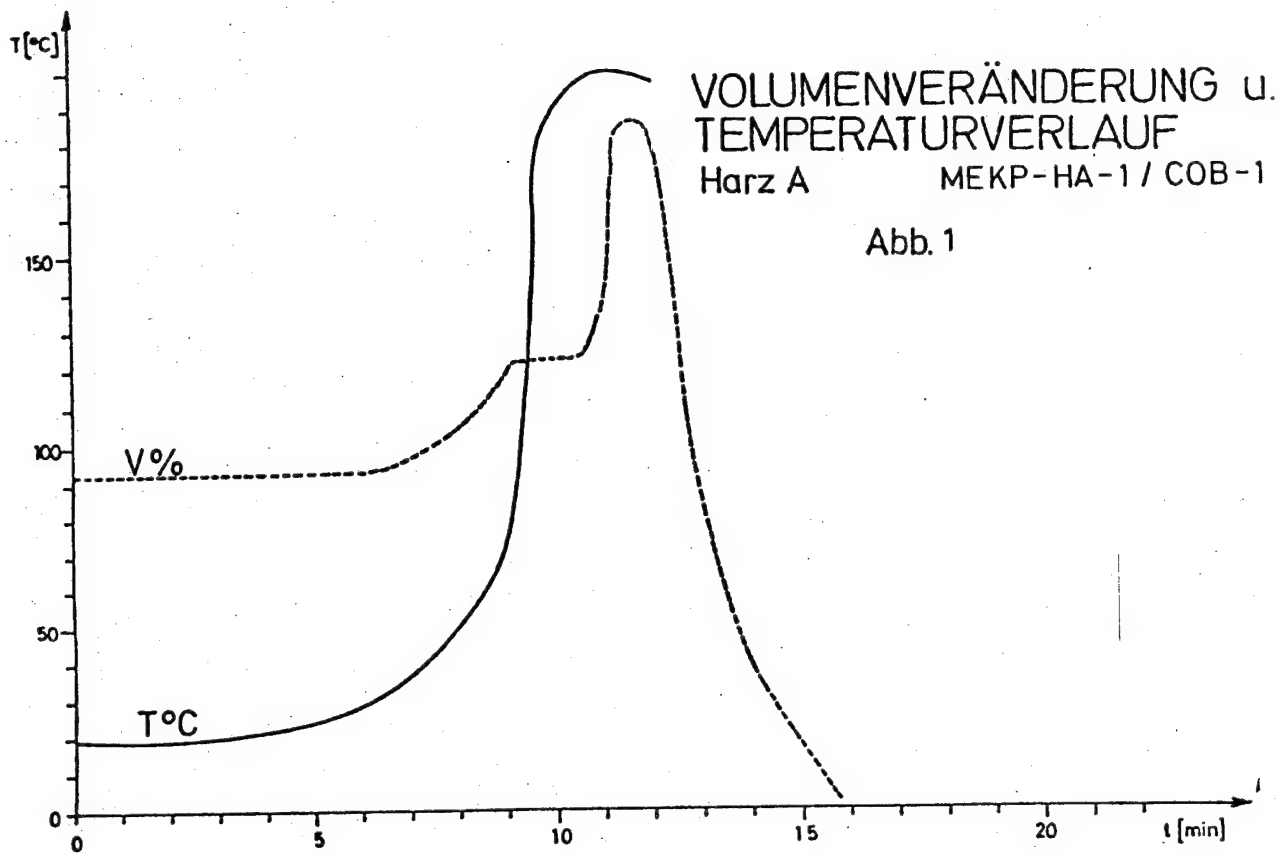
PEROXID-CHEMIE GmbH, D-8023 Höllriegelskreuth

"Die üblicherweise verwendeten Kalthärtungssysteme für ungesättigte Polyesterharze führen in dickwandigen GF-UP-Laminaten zu hohen Temperaturspitzen was zur Schädigung und Zerstörung solcher Laminatete führen kann. Besondere Härtersysteme ermöglichen einen schonenden Reaktionsverlauf, ohne daß die Reaktionszeiten verlängert werden und ohne daß die End Eigenschaften gemindert werden. Der Vortrag berichtet über mehrjährige praktische Erfahrungen sowie über neue Erkenntnisse bei der industriellen Herstellung solcher Teile."

"Curing systems for unsaturated polyester resins, which are normally applicated at ambient temperatures may cause deterioration and destruction of thick GRP laminates due to high peak exotherms. Special curing systems perform a smooth reaction without prolongation of reaction times and without harm to the final property. The paper reports the practical experience of several years in the industrial production of thick laminates and latest achievements."

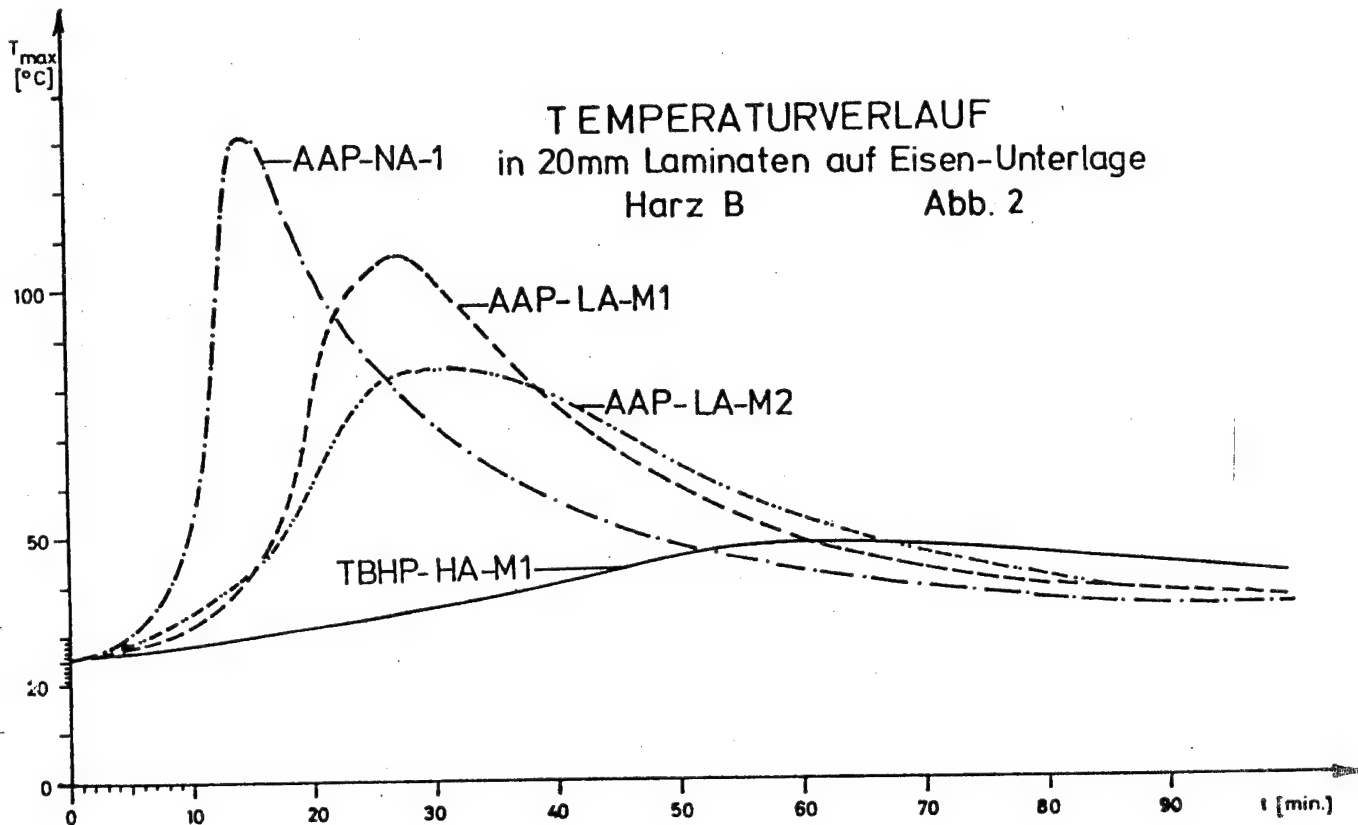
Die Härtung von ungesättigten Polyesterharzen ist ein Vorgang, bei welchem Wärme frei wird. Bei der Herstellung von Teilen aus ungesättigtem Polyesterharz mit großem Volumen oder mit höherer Wandstärke kann die freiwerdende Wärme zu einer Schädigung führen in Form von Ribbildung oder Delaminierung. Gleichlaufend mit einer starken Wärmeentwicklung tritt in dem Harz eine extreme Volumenveränderung auf. Durch die entstehende Reaktionswärme dehnt sich das Harzvolumen stark und schnell aus, gegenläufig setzt mit beginnender Härtung des Harzes der harzeigene Schrumpf ein, so daß es zu einer Volumenverminderung kommt. Diese wiederum führt zu den oben genannten Schädigungen. (siehe Abbildung 1)

Abbildung 1



Bei der Kalthärtung von UP-Harzen (Härtung bei Raumtemperatur unter Verwendung von Cobaltbeschleuniger und Ketonperoxid) von großvolumigen Teilen oder dicken Laminaten wird in den letzten Jahren mit Erfolg ein Härtungssystem auf Basis Acetylacetonperoxid in Kombination mit einer bestimmten Menge tert.-Butylhydroperoxid eingesetzt. Bei Anwesenheit von Cobaltbeschleuniger bewirkt diese Verbindung eine Verminderung der freiwerdenden Reaktionswärme und bietet gleichzeitig technisch interessante Entformzeiten. (siehe Abbildung 2)

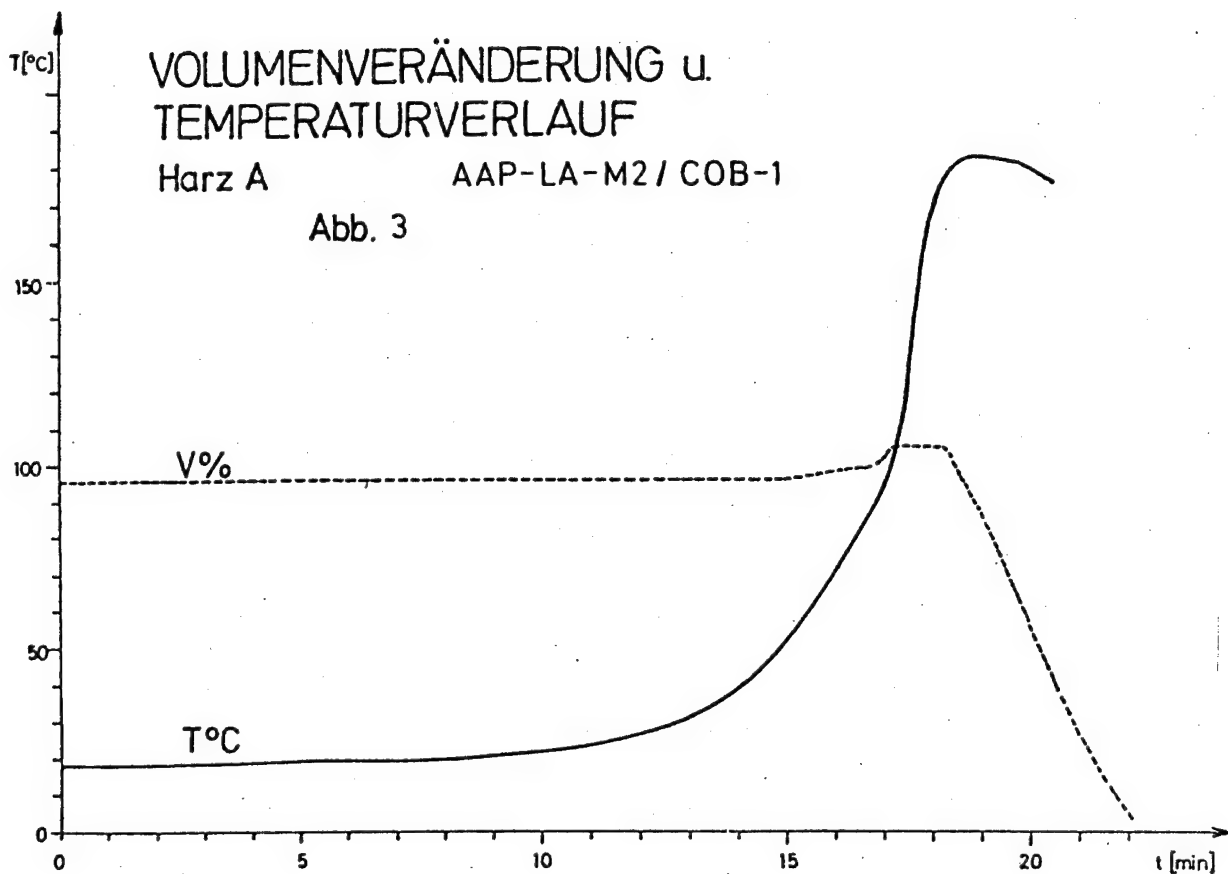
Abbildung 2



Wesentlich ist, daß durch dieses Härtungssystem das UP-Harz eine viel geringere Volumenveränderung erfährt. Durch die verminderte Wärmeentwicklung erfolgt kaum eine Ausdehnung. Der Harzschrumpf verläuft langsamer. Es werden rißfreie Harzblöcke erhalten. (siehe Abbildung 3)



Abbildung 3

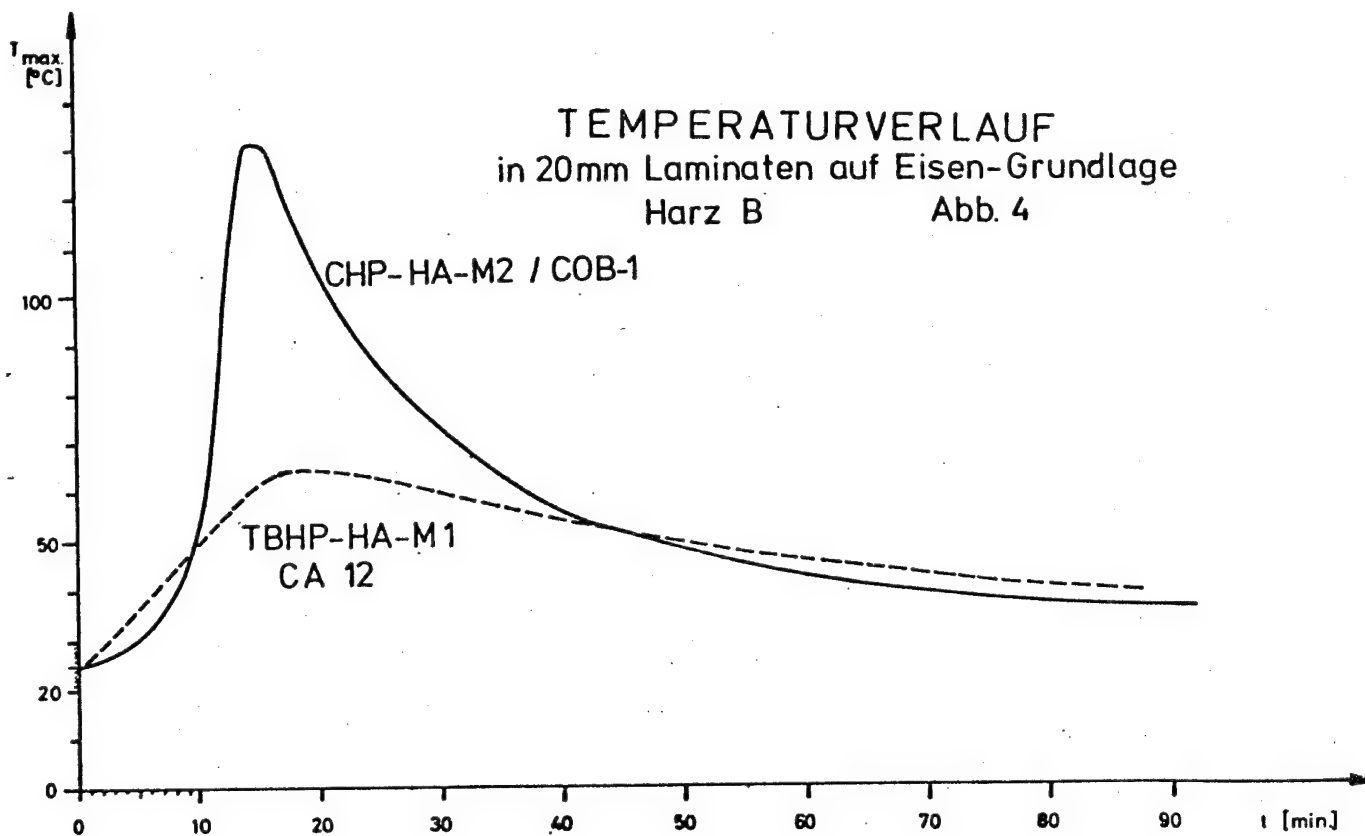


In der letzten Zeit wurde die Auswirkung dieses Systems auf die Durchhärtung von UP-Harzen noch genauer untersucht, wobei hauptsächlich der Reststyrolgehalt als Maßstab genommen wird. Es zeigt sich, daß die Anwesenheit von tert.-Butylhydroperoxid niedrige Reststyrolwerte gewährleistet bzw. bei Lagerung der hergestellten Teile oder nachfolgender Wärmebehandlung (Tempern) ausreichend niedrige Reststyrolgehalte erzielt werden.

Durch Verwendung der genannten Peroxidgemische wird je nach Mischungsverhältnis die Entformzeit in gewissem Umfang verlängert. Um dies auszugleichen, wird zunehmend als Beschleuniger eine Kombination von Cobaltoctoat mit einem Amin eingesetzt, wobei das Amin als Promotor wirkt. Härtungssysteme auf Basis eines derartigen Beschleunigers (CA-12) und eines Peroxidgemisches auf Basis Acetylacetonperoxid/

tert.-Butylhydroperoxid ergeben die gleiche Härtingscharakteristik, also verminderte Wärmeentwicklung. Gleichzeitig aber wird eine kurze Härtings- und Entformzeit erreicht. Dies ist auch von Bedeutung bei schwerhärtbaren Harzen, wie Het-Säure- oder Bisphenol-A-Harzen, für deren Härtung meist Cobalt und Amin erforderlich sind.

Abbildung 4



Obwohl die Härtung großvolumiger Teile aus gefülltem UP-Harz oder dickwandiger GF-UP-Lamine ein Randgebiet der UP-Verarbeitung darstellt, gab es in der industriellen Anwendung große Schwierigkeiten, derartige Körper in einem Arbeitsgang herzustellen. Mit den besonderen Härtungssystemen auf Basis Cobalt mit Acetylacetonperoxid-Gemischen und neuerdings auf Basis Cobalt/Amin mit Acetylacetonperoxid-

Gemischen lassen sich diese Probleme ohne Schwierigkeiten lösen. Einige Anschauungsbeispiele aus der Praxis seien erwähnt:

#### UP-Harz unverstärkt, gefüllt:

Stangen für Knöpfe und Schnallen mit Durchmessern bis 120 mm werden in einem Arbeitsgang gegossen. Es erfolgt eine milde Wärmeentwicklung und homogene Härtung, so daß rißfreie Stangen erhalten werden. Das Schneiden, Einfärben und Polieren dieses Materials bereitet keine Schwierigkeiten.

Für die Herstellung von Stilmöbeln werden im großen Umfang Ornamente aus gefülltem UP-Harz eingesetzt. Diese Teile werden im Gießverfahren unter Verwendung von Silikonkautschukformen hergestellt. Wichtig hierbei ist, daß die Wärmebelastung dieser Formen niedrig gehalten wird, um ihre Lebensdauer nicht zu verkürzen. Gleichzeitig werden kurze Entformzeiten erhalten, dies ist für eine Fertigung mit hoher Stückzahl erforderlich.

Teile aus hochgefülltem UP-Harz (Polyesterbeton) werden in zunehmendem Maß hergestellt und ersetzen durch ihre weitaus höhere Beständigkeit Teile aus Zementbeton. Es werden kurze Entformzeiten benötigt. Gleichzeitig soll die entstehende Reaktionswärme niedrig sein, um eine Rißbildung oder Verformung der Fertigteile auszuschließen.

#### UP-Harz glasfaserverstärkt

Teile, im Handverfahren oder im Harzfaser-Spritzverfahren hergestellt, weisen oft höhere Wandstärken auf. Da die verwendeten Formen meist aus Kunststoff sind, ist eine gebremste Temperaturentwicklung bei der Härtung sehr wichtig, um die Formen zu schonen. Rißbildung oder Delaminierung in den Teilen muß unbedingt vermieden werden.

Dies ist z.B. der Fall bei der Herstellung von Teilen für Chemie-Anlagen aus GF-UP, wo an Krümmern oder Flanschen extreme Wandstärken auftreten können.

Bei der Herstellung von GF-UP-Teilen im Injektionsverfahren werden ebenfalls Kunststoff-Formen verwendet. Da hier möglichst hohe Stückzahlen angestrebt werden, muß eine kurze Härtungszeit eingestellt werden. Gleichzeitig soll aber vermieden werden, daß sich die Kunststoff-Formen zu stark erwärmen und dadurch Schaden nehmen.

Bei der Herstellung von Platten mit großen Wandstärken (200 mm) im Naßpreßverfahren können durch Einsatz gezielter Härtungssysteme homogene Eigenschaften über den gesamten Bereich der Platte erreicht werden. Dies ist besonders wichtig bei Einsatz solcher Platten in der Elektroindustrie.

Bei der Herstellung von Flanschen oder Muffen aus GF-UP wird das Schleuderverfahren mit Erfolg angewendet, da hier Teile mit hoher Druckbelastung hergestellt werden können. Die entstehende Reaktionswärme muß auch in diesem Fall niedrig bleiben, um eine Ribbildung innerhalb dieser dickwandigen Teile auszuschließen.

Die Herstellung von Rohren und Zylindern aus GF-UP im Wickelverfahren:

Überwiegend wird heute bei diesem Verfahren bei Raumtemperatur gearbeitet, wobei eine ausreichend lange Verarbeitungszeit des Tränkharztes, eine verminderte Wärmeentwicklung bei der Härtung, eine kurze Entformzeit und ein guter Aushärtungsgrad erwartet wird. Sowohl beim diskontinuierlichen Wickelverfahren (System Bolenz & Schäfer) als auch beim kontinuierlichen Wickelverfahren (System Drostholm) können obige Forderungen erfüllt werden.

Die Herstellung von Rohren und Zylindern aus GF-UP im Schleuderverfahren:

Bei diesem Verfahren werden, bedingt durch die geringe Länge der Glasfasern in der Regel höhere Wandstärken hergestellt, wobei ein hoher Harzanteil vorliegt. Es ist hier erforderlich, daß nach Beendigung der Formen-Füllzeit rasch die Härtung eintritt, wobei eine gebremste Reaktionstemperatur benötigt wird, um Schädigungen im Laminat auszuschließen. Für das Entformen wird eine hohe Entformsteifigkeit, nach möglichst kurzer Zeit gefordert, und erhalten.

Aufgrund vieler Erfahrungen bei der industriellen Herstellung von Teilen aus UP-Harz kann die Aussage gemacht werden, daß Härtungssysteme auf Basis Cobalt oder Cobalt/Amin mit Härtern auf Basis Acetylacetonperoxid und Hydroperoxid eine sichere Härtung gewährleisten. Dies bezieht sich auf kurze Härtungszeiten verbunden mit einer gesteuerten, verminderten Wärmeentwicklung; auf ausgezeichnete Aushärtungseigenschaften der Harze.

RENFORCEMENT DES BETONS DE RESINE PAR LES FIBRES DE VERRE

GLASS-FIBRE REINFORCEMENT OF RESIN CONCRETES

Mr Claude MICHAUX

Chargé de Recherches Principal, Section Polymères

Institut National des Industries Extractives (INIEX), Liège, Belgium

RESUME

Après un aperçu sur les caractéristiques et les possibilités offertes actuellement par les bétons de résine, l'amélioration des propriétés de ces nouveaux matériaux par incorporation des fibres de verre (fibres courtes, mats, tissus) est mise en évidence, en s'appuyant sur des applications mises au point à l'INIEX.

SUMMARY

After a review of the characteristics and the possibilities offered at the present time by resin concretes, the improvement of the properties of these new materials by the incorporation of glass-fibres (short fibres, mats, woven rovings) is brought out, based on applications developed at INIEX.

## RENFORCEMENT DES BETONS DE RESINE PAR LES FIBRES DE VERRE

C. MICHAUX, Ingénieur

Section Polymères, INIEX, 4000 Liège, Belgique

Le présent exposé développe quelques-uns des travaux réalisés à l'Institut National des Industries Extractives, en vue d'améliorer certaines caractéristiques des bétons de résine et d'en élargir ainsi leur champ d'application.

Avant toute chose, nous rappellerons rapidement ce que nous appelons bétons de résine et quelles en sont les principales propriétés.

Les bétons de résine tels que nous les avons étudiés sont des matériaux composés de résine polyester, époxyde ou acrylique à raison de 5 à 20 %, et de charges minérales de granulométries diverses à raison de 95 à 80 %.

Indépendamment des agents de durcissement toujours nécessaires à la réticulation du polymère, des additifs en faible pourcentage comme, par exemple, des pigments et des produits ignifugeants, ainsi que des charges organiques comme la farine de bois, seront utilisés dans certains cas.

Les principales caractéristiques sont reprises dans le tableau 1; il s'agit de résultats moyens enregistrés à 23°C à partir de formulations classiques rigides.

Dans le cas d'applications spécifiques, des résines souples ou des résines spéciales à résistance chimique, mécanique et/ou thermique améliorée, sont utilisées et peuvent changer certaines des caractéristiques du produit fini.

En comparant les valeurs reprises dans le tableau 1 avec celles d'un béton de ciment de bonne qualité et non renforcé, on constate notamment qu'à la rupture, le béton de résine est nettement plus résistant : 3 à 4 fois en traction, 6 à 7 fois en flexion et 2 à 3 fois en compression. Par rapport aux marbres et aux pierres naturelles, la différence est parfois moins grande; mais, de toutes façons, le béton de résine est beaucoup plus homogène et ne nécessite aucun surdimensionnement comme l'exige parfois l'existence dans les produits naturels de certains défauts ou hétérogénéités structurelles.

TABLEAU 1 - Principales caractéristiques des bétons de résine à 23°C

Caractéristiques	Valeurs moyennes
Traction	
- tension de rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	170
- allongement à la rupture (%)	0,5
- module d'élasticité à l'origine (kg/cm <sup>2</sup> )	50.000
Flexion	
- tension de rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	300
- flèche à la rupture (mm)	0,5
- module d'élasticité à l'origine (kg/cm <sup>2</sup> )	150.000
Compression	
- tension de rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	1.000
- module d'élasticité (kg/cm <sup>2</sup> )	40.000
Résilience Charpy (sans entaille) (kg cm/cm <sup>2</sup> )	1,75
Coefficient de dilatation (mm/mm x °C)	25-30.10 <sup>-6</sup>
Absorption d'eau (%)	0,5
Usure Amsler (mm) après un parcours de :	
- 1.000 m	1,8
- 2.000 m	3,5
- 3.000 m	5,2

Parmi les autres propriétés intéressantes que possèdent les bétons de résine, il faut rappeler :

- la facilité de moulage sous des formes et des aspects divers,
- l'aspect de surface remarquable, l'entretien facile et le nettoyage aisé de tous graffiti,
- l'excellente résistance aux agents chimiques, aux eaux usées et au vieillissement,
- la bonne tenue à l'ensoleillement, au gel et au rayonnement U.V.,
- le bon comportement au feu,
- la possibilité de renforcements, notamment à l'aide de fibres de verre.

De nombreuses réalisations dans des domaines aussi variés que le mobilier aussi bien intérieur qu'extérieur, la décoration, le sanitaire, les éléments de façade, les arts et la restauration des bâtiments publics, ont été élaborées dans les laboratoires de l'INIEX, depuis l'étude de la formulation jusqu'à la mise en oeuvre de la pièce finie.

Lors de l'exploitation industrielle de ces techniques, nous avons toujours veillé à ce que le béton de résine ne devienne pas un produit de remplacement ou d'imitation, mais soit considéré comme un nouveau matériau avec ses caractéristiques propres.

Pour mettre en évidence ce que représente le béton résineux et ce qu'il peut apporter en tant que tel, nous prendrons à titre exemplatif le cas des façades dans les bâtiments (photo 1); pour celles-ci, on demande de plus en plus d'allier à une esthétique et à la durabilité d'aspect une résistance maximum et une simplification dans les techniques de pose. Dans ce contexte, on pense directement à la préfabrication et au rôle qu'y jouent le béton de ciment et la pierre naturelle. Voyons également ce que pourra apporter le béton de résine.

Si la coulée d'éléments en béton hydraulique traditionnel autorise une certaine recherche de forme, en ce qui concerne l'aspect initial et la tenue dans le temps, on se heurte à des limitations non négligeables, notamment au niveau de l'entretien coûteux. On peut considérer qu'un béton architectonique dit décoratif, de 10 cm d'épaisseur, coûte de l'ordre de 2.500 FB/m<sup>2</sup> placé; si on envisage un revêtement protecteur type structuré ou crépi fin, il faut ajouter quelques centaines de francs au m<sup>2</sup>. Un rafraîchissement régulier de la façade est toujours nécessaire et n'oublions pas qu'étant en préfabrication lourde, il faut en tenir compte à tous les stades de la construction, depuis les fondations jusqu'à la pose.

En fonction de ses caractéristiques mécaniques, le béton de résine est utilisable en mince épaisseur (de l'ordre de 2 cm) et de ce fait devient le matériau par excellence pour la préfabrication légère conçue avec une structure métallique minimum, sur laquelle se fixeront directement les murs-rideaux en béton résineux.

L'absence de support, mis à part une dalle de niveau, et la pose économique due principalement à la légèreté des éléments et au positionnement précis d'inserts noyés dans ceux-ci, rendent économiquement rentable l'utilisation de tels éléments. Suivant leur complexité, ceux-ci coûtent non placés de 2.000 à 4.000 FB/m<sup>2</sup> en 2 cm d'épaisseur. Rappelons qu'ils sont non gélifs, résistent aux agressions chimiques et atmosphériques, sont d'un entretien facile, se comportent très bien dans le temps et peuvent se présenter sous des formes et des aspects divers.

Ce sont toutes ces propriétés, mais également les modifications apportées dans l'art de construire, qui font que le béton résineux est un autre matériau se différenciant du béton de ciment, mais également de la pierre de taille et du marbre. En ce qui les concerne, les pierres naturelles sont envisagées avec une épaisseur minimum de 4 à 5 cm, en fonction des résistances propres et de la pose mécanique actuelle; elles ont besoin d'un support. Au point de vue économique, elles se vendent déjà, non placées, environ 2.500 FB/m<sup>2</sup> pour des panneaux de petites dimensions (de l'ordre de 0,5 m<sup>2</sup>) et ne sont utilisées que pour des éléments plans dont l'épaisseur et, par conséquent, le prix augmenteront sensiblement avec les dimensions.

Comme on l'a vu avec le béton de ciment, ici encore les créneaux du marché diffèrent essentiellement de ceux du béton de résine.



L'exemple pratique qui suit démontrera d'ailleurs cette différenciation, nécessaire si on veut comprendre et exploiter pleinement les qualités du béton de résine et lui définir son propre champ d'application.

La finition d'un building dans un quartier résidentiel de la périphérie liégeoise nécessitait des éléments de balcons dont la destination était à la fois esthétique et protectrice. Il s'agissait de colonnettes aux formes arrondies, reliées par des pièces en U longues de près de 3 m, hautes de 35 cm, avec un retour de 8 cm (photo 2). La forme de la colonnette rendait prohibitive l'utilisation de la pierre naturelle, en raison du travail de taille nécessaire. Le béton de ciment aurait certes permis un moulage conforme au relief souhaité, mais subsistaient, d'une part, les problèmes de teinte et d'aspect et, d'autre part, les inconvénients inhérents au salissement et à l'entretien dans le temps.

Le béton de résine a été choisi et il s'est avéré que, si le prix de revient des éléments en béton résineux était plus élevé que celui des éléments en béton de ciment, la pose beaucoup plus économique compensait cette différence et que le coût global de l'opération était similaire.

Les propriétés des bétons de résine s'avèrent donc très intéressantes. Cependant, pour des applications particulières, l'amélioration de caractéristiques bien précises comme, par exemple, la résistance au choc, peut élargir l'éventail des possibilités offertes en rentabilisant mieux le produit fini.

Au cours de nos études, nous avons envisagé divers types de renforcements, dont certains à base de fibres de verre (mats, tissus, tubes, joncs, fibres courtes). Il n'est pas possible d'explicitier ici l'intérêt présenté par chacun de ces agents renforçants. Nous nous limiterons aux résultats obtenus en utilisant les fibres courtes qui interviennent dans l'amélioration de la résistance au choc des bétons de résine. Cette caractéristique est actuellement suffisante pour de nombreuses applications. Néanmoins, il est intéressant de l'augmenter pour valoriser de façon optimum les autres qualités du matériau lorsqu'on aborde des réalisations soumises accidentellement ou périodiquement à des sollicitations par impact : dallage, mobilier urbain, bordures, panneaux de construction, etc....

Voyons d'abord quelques résultats obtenus sur les bétons de résine sans incorporation de fibres. La résilience a été déterminée en se basant sur la Recommandation ISO R 179 (Détermination de la Résilience Charpy des Matières Plastiques Rigides), en utilisant le barreau normal non entaillé de 120 x 15 x 10 mm (photo 3).

Quelques essais de chute de bille avec un poids normalisé de 1 kg tombant de différentes hauteurs ont été également effectués sur des dalles de 30 x 30 cm, posées sur un lit de sable (photo 4).

Le tableau 2 donne la résilience en  $\text{kg cm/cm}^2$  et le tableau 3 reprend les valeurs obtenues lors des essais de chute de bille. Les deux tableaux illustrent l'influence de la charge minérale sur les propriétés du béton de résine : par exemple, l'incorporation de verre broyé rend le matériau plus fragile.

TABLEAU 2 - Résilience en kg cm/cm<sup>2</sup>

Formulations	Résilience (en kg cm/cm <sup>2</sup> )
Polyester + charges calcaires et silices	1,87
Polyester + charges calcaires	1,66
Polyester + silices	1,61
Polyester + charges calcaires et verre broyé (collectes sélectives lors du ramassage des immondices)	1,52
Epoxy + charges calcaires et silices	1,81

TABLEAU 3 - Essais de chute de bille

Formulations	Résistance (poids de 1 kg)
Polyester + charges calcaires; plaques de 20 mm d'épaisseur	Eclatement à 1,20 m de hauteur de chute
Polyester + charges calcaires et verre broyé (collectes sélectives); plaques de 15 mm d'épaisseur	Eclatement à 0,50 m de hauteur de chute

Avant de commencer l'étude systématique de l'action des fibres de verre courtes sur la résistance au choc, quelques essais préliminaires ont été réalisés afin de rechercher, sur une fibre de longueur donnée, un type d'ensimage permettant une mise en oeuvre aisée. Pour ce faire, des fibres de 6 mm avec 3 ensimages différents ont été choisies : 2 avec base silane et 1 avec base chrome. La résine est un polyester insaturé orthophtalique à haute réactivité, contenant 37 % de styrène; la viscosité à 23°C est de 250 cP (mPa x s).

Les charges minérales sont des calcaires de 0 à 3 mm; la répartition granulométrique a été soigneusement calculée pour obtenir des taux de charge maximum tout en conservant les conditions optimum de mise en oeuvre.

Un seul type d'ensimage dont la base est un silane a été retenu; les 2 autres nécessitaient une augmentation exagérée de la teneur en résine si on voulait conserver à la fois un mélange de bonne coulabilité et un matériau fini homogène.

L'ensimage étant déterminé, l'étude proprement dite a commencé en incorporant dans la formule de référence des pourcentages croissants de fibres de différentes longueurs : successivement 3, 6 et 13 mm.

Ces pourcentages sont également calculés par rapport à la quantité de résine car nous avons considéré, dans un premier temps, que l'effet renforçant des fibres courtes est essentiellement fonction de la matrice résineuse.

Le pourcentage en résine de la formulation sera ajusté chaque fois afin de conserver au mélange les mêmes caractéristiques de mise en oeuvre.

Le tableau 4 donne les résultats de résilience obtenus lors de l'incorporation des fibres de 3 mm.

TABLEAU 4 - Fibres courtes 3 mm avec ensimage avec base silane

Pourcentage résine	Pourcentage fibres		Résilience Charpy kg cm/cm <sup>2</sup>
	par rapport à la résine	par rapport au poids total	
12,5	0	0	1,66
14	5	0,7	2,18
16	7	1,1	2,59
16	10	1,6	2,89
18	13	2,3	3,04
18	15	2,7	2,97

Le tableau 5 reprend les résultats avec les fibres de 6 mm.

TABLEAU 5 - Fibres courtes 6 mm avec ensimage avec base silane

Pourcentage résine	Pourcentage fibres		Résilience Charpy kg cm/cm <sup>2</sup>
	par rapport à la résine	par rapport au poids total	
12,5	0	0	1,66
16	5	0,8	2,89
16	7	1,1	3,41
20	10	2	3,89
20	11,5	2,3	3,81

Le tableau 6 reprend les résultats avec les fibres de 13 mm.

TABLEAU 6 - Fibres courtes 13 mm avec ensimage avec base silane

Pourcentage résine	Pourcentage fibres		Résilience Charpy kg cm/cm <sup>2</sup>
	par rapport à la résine	par rapport au poids total	
12,5	0	0	1,66
16	5	0,8	3,14
20	10	2	5,59
22	11,5	2,5	5,48

Comme prévu, on constate qu'une teneur croissante en fibres nécessite un pourcentage en résine plus important. De ce fait, le pourcentage en charges minérales est moins élevé. Or, la résine et les fibres courtes coûtent beaucoup plus cher que les charges minérales; par conséquent, l'incorporation des fibres courtes augmente le prix de revient du matériau fini.

Les caractéristiques supérieures obtenues peuvent justifier un prix plus élevé à condition de rester dans des limites acceptables.

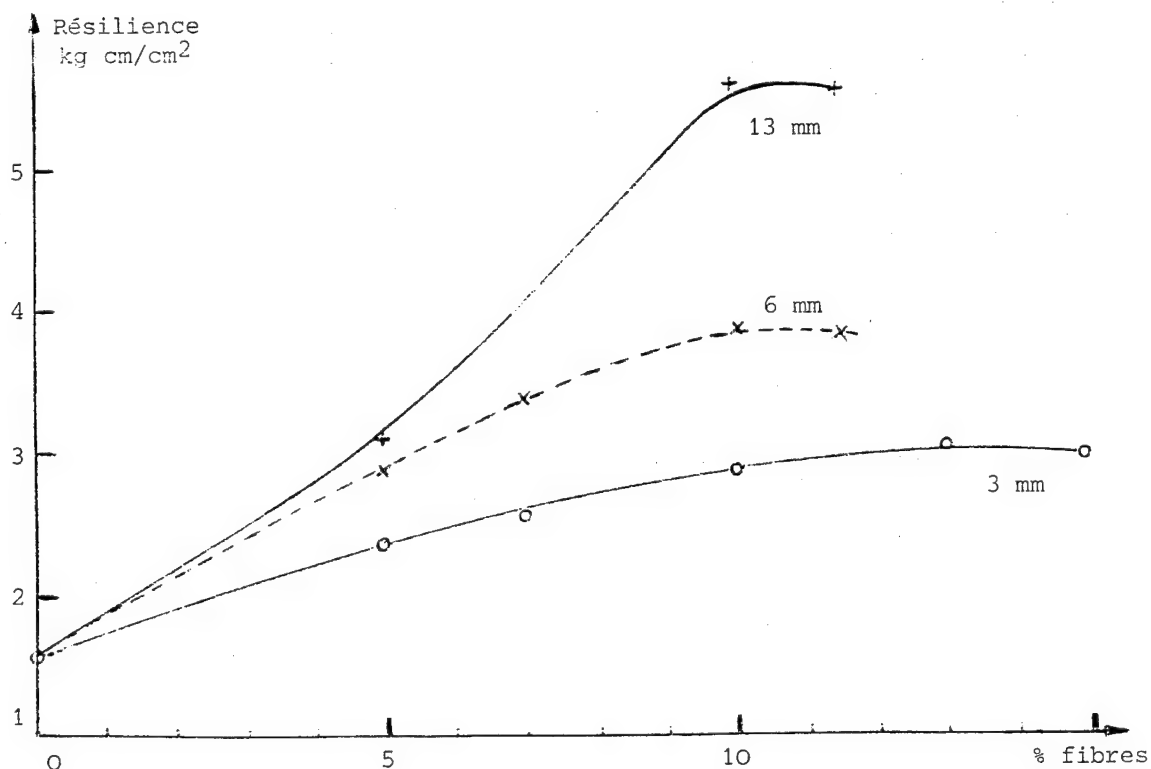


Fig. 1 - Résilience Charpy en fonction de la teneur en fibres (en % par rapport à la résine)

En portant sur diagramme l'augmentation de la résilience en fonction de la teneur en fibres, il faut remarquer que les courbes obtenues tendent vers un maximum. En fonction de l'impact financier qu'ont les fibres courtes, la figure 1 montre que 10 % de celles-ci par rapport à la résine constitueraient un optimum qu'il ne serait pas rentable de dépasser, puisqu'au-dessus de cette valeur, le renforcement relatif enregistré est moins sensible. Seules les applications spéciales où le prix de revient reste secondaire par rapport aux caractéristiques recherchées justifieraient un pourcentage en fibres supérieur à 10 %.

Pour être complets, nous chiffrerons l'incidence qu'aura cette incorporation de fibres courtes, d'une part, sur le prix de la formulation et, d'autre part, sur le prix de vente du produit fini.

La formulation de base sans fibres courtes revient à 9 FB/kg (12,5 % de résine à 50 FB/kg, 0,4 % pour le système catalytique à 150 FB/kg, le reste étant des charges minérales à 3 FB/kg en moyenne).

Si on incorpore 10 % de fibres par rapport à la résine, les tableaux 4, 5 et 6 montrent que, suivant la longueur des fibres, le pourcentage en résine nécessaire pour conserver une formulation valable variera, mais ne dépassera pas 20 %; en effectuant le même calcul que ci-dessus en fixant le prix des fibres courtes à 60 FB/kg en moyenne, on arrive, pour la formule renforcée, à 13,5 FB/kg, soit 4,5 FB de plus au kg.

Le prix de vente du produit fini sans incorporation de fibres courtes est de l'ordre de 75 FB/kg; on peut donc conclure qu'en incorporant 10 % de fibres courtes par rapport à la quantité de résine, le produit fini devra être vendu au maximum 7,5 % plus cher, ce qui reste très économique en fonction des caractéristiques obtenues.

Avant de passer à quelques applications pour lesquelles l'amélioration de la résistance au choc est recherchée, nous donnerons les résistances à la rupture enregistrées en laissant tomber de différentes hauteurs la bille normalisée de 1 kg. Les résultats sont repris dans le tableau 7.

TABLEAU 7 - Chute de bille (1 kg) sur dalles 30 x 30 cm

Charges minérales	Epaisseur dalles (cm)	Fibres		Résistance : hauteur de chute provoquant la rupture
		Longueur	% par rapport à la résine	
Calcaires + verre broyé	1,5	-	-	0,50 m
Calcaires + verre broyé	1,5	6	7	1 m : 1ère fissure 1,50 m : rupture totale
Calcaires	2	-	-	1,20 m
Calcaires	2	3	7	2,20 m
Calcaires	2	13	7	> 2,20 m

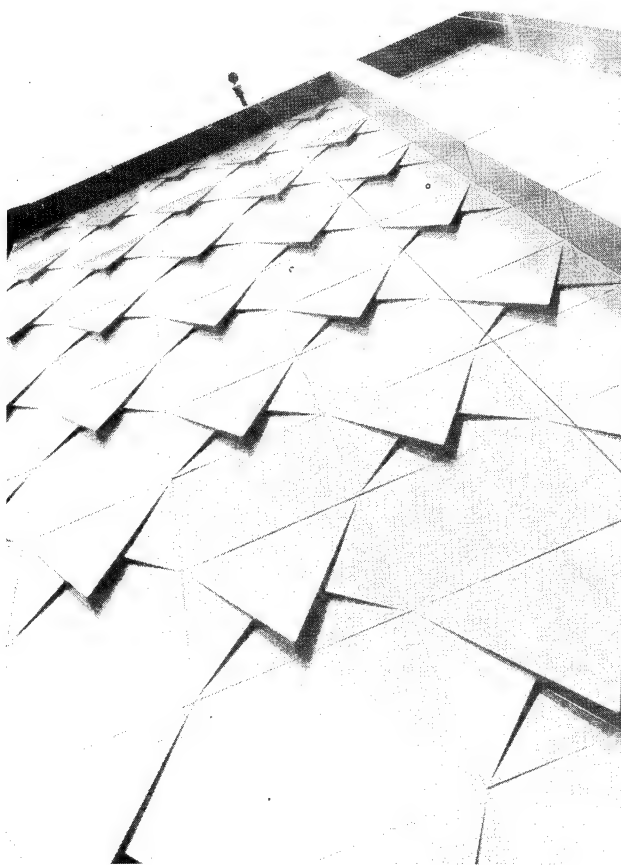
En ce qui concerne le type de rupture, les dalles non renforcées éclatent en de nombreux morceaux, tandis que celles avec fibres courtes se fissurent mais n'éclatent pas.

Pour terminer, les réalisations qui suivent illustreront des domaines pratiques où l'incorporation des fibres courtes conférerait au béton de résine des caractéristiques complémentaires, le valorisant au mieux.

Sur la photo 5 sont repris quelques articles de mobilier urbain ou de jardin : table, tabouret, banc, jardinière.

Sur la photo 6, on peut voir le piétonnier de la rue Pont d'Avroy à Liège et un bac à papier actuellement utilisé par la Ville. Pour ces deux derniers exemples, il est intéressant de signaler que du verre broyé provenant des collectes sélectives des déchets urbains a été incorporé en tant que produit recyclé dans la formule, où il joue le même rôle que les charges minérales habituelles.

Photo 1 : Vue prise à partir du sol d'une partie de la façade d'un bâtiment en construction à Liège. Des éléments plans en béton de résine décoratif alternent avec des éléments du même type possédant un relief.



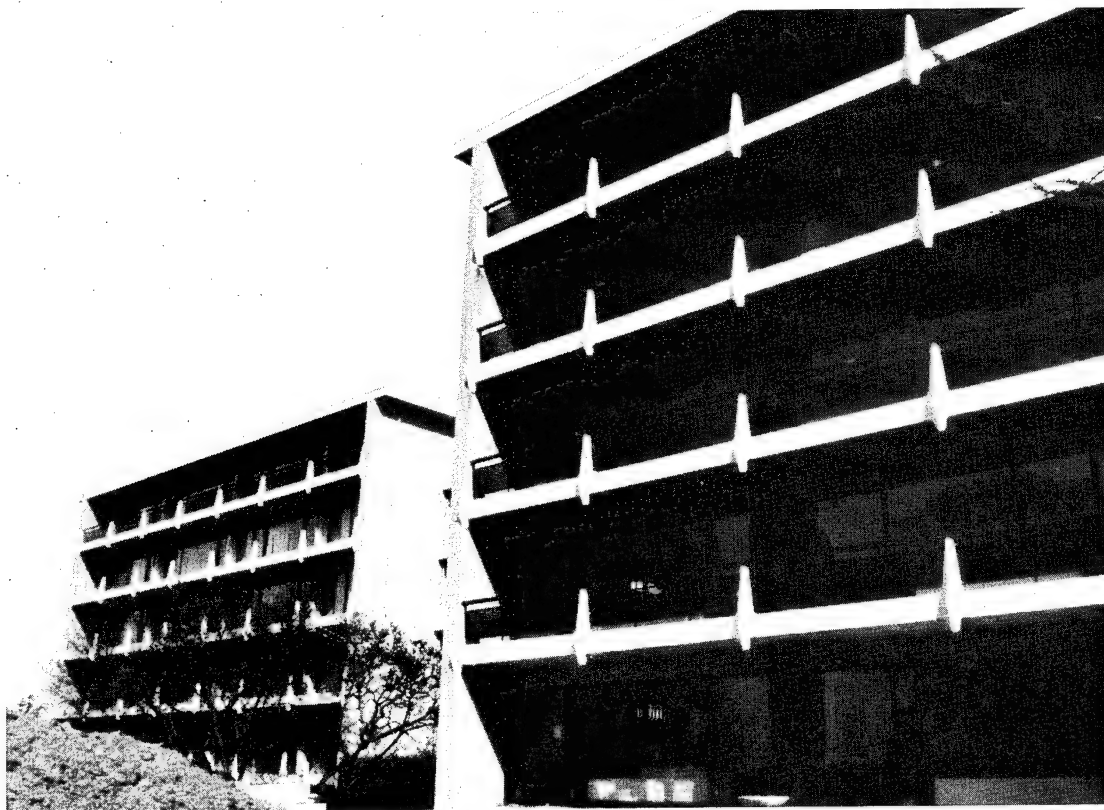


Photo 2 : Eléments de balcons en béton de résine; la distance entre chaque colonnette est de l'ordre de 3 m.

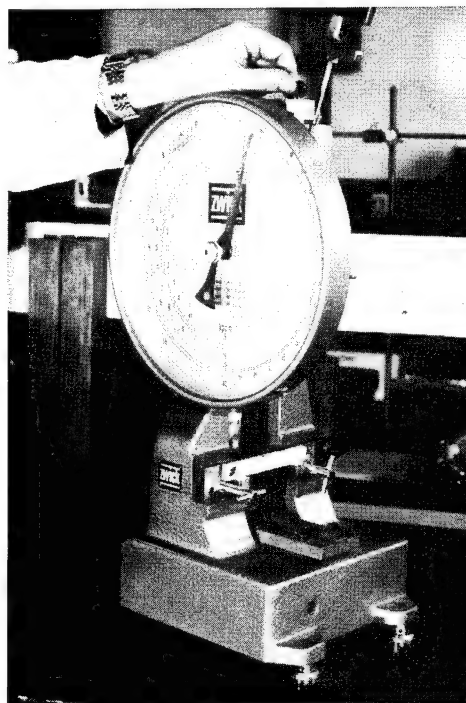


Photo 3 : Appareillage pour la détermination de la Résistance Charpy.



Photo 4 : Appareillage pour l'essai de chute de bille.





Photo 5 : Exemples de mobilier urbain de jardin.

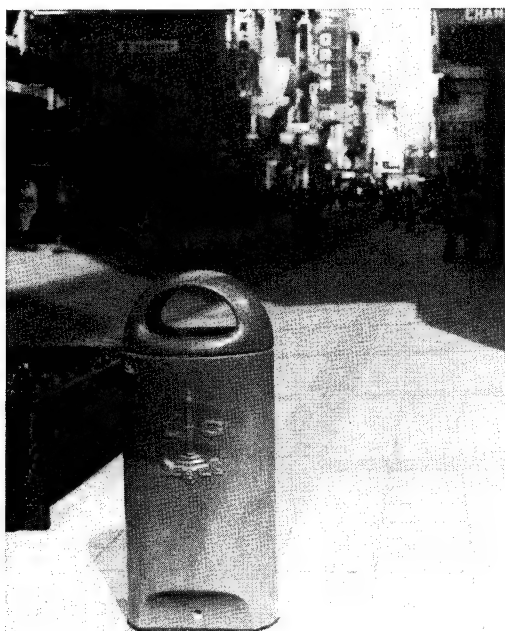


Photo 6 : Piétonnier de la rue  
Pont d'Avroy à Liège avec, à l'avant-  
plan, un bac à papier.

## EEN ALTERNATIEF GLASVEZELVERSTERKT MATERIAAL

## AN ALTERNATIVE GLASSFIBRE REINFORCED MATERIAL

Mr R. D. OOSTERHOFF

Commercieel Technicus

Silenka, Hoogezand, The Netherlands

### SAMENVATTING

Sinds glasvezels worden gebruikt als wapeningsmateriaal voor verschillende soorten kunststoffen is gezocht naar de mogelijkheid om ook cement met glasvezel te versterken. Uit het teruglopen van de mechanische eigenschappen in de tijd van glasvezelversterkt cement leidde men af dat E-glasvezel niet geschikt was voor deze toepassing vanwege een chemische aantasting van het glas door de alkalische matrix. Echter is nadien gebleken dat er nog een andere belangrijke reden voor de teruggang van de eigenschappen is. De ruimte tussen de glasfilamenten wordt na verloop van tijd opgevuld met een harde kristalfijne massa. Bij belasting van GRC worden de brosse glasvezels door de harde omgeving beschadigd, waardoor filamentbreuk optreedt en daardoor vermindering van sterkte. DSM, in samenwerking met Silenka, heeft een mogelijkheid gevonden om de vorming van deze harde matrix rondom de glasvezels te voorkomen, waardoor een aanzienlijk verbetering van de langeduur eigenschappen van GRC kon worden bereikt. Het geotrooieerde FORTON-(P) GRC-systeem kan gezien worden als een materiaal dat bv vanwege de gunstige brandwerende eigenschappen, als een aanvulling op GRP kan worden gebruikt. In sommige gevallen is het een aantrekkelijk alternatief van GRP.

### SUMMARY

Ever since glassfibre is being used as reinforcement material for various plastics also the possibility to reinforce cement with glassfibre material has been studied and researched. The deterioration of mechanical properties over a period of time led to the hypothesis that E-glass fibres were not suitable for this application due to a chemical attack of the alkaline matrix on the glassfibre. However, some years ago it was discovered that there was another, may be even more important, reason for this deterioration of properties. The space between the glassfibres is gradually being filled with a very hard crystalline material out of the matrix. Loading GRC (Glass Fibre Reinforced Cement) products causes a damaging of the brittle glassfibres due to the hard sharp crystal surroundings. This causes the filaments to break leading to a reduction of loading capacities. DSM, in cooperation with Silenka, has found a way to prevent the formation of crystalline material, leading to a considerable improvement in long term performance of GRC. The patented FORTON-(P) GRC system can be considered as a material that, f.i. due to its favourable fire resistance properties, supplements GRP. In some cases it is an attractive alternative to GRP.

COREMAT - NONWOVEN RESIN CARRIER FOR THE CORES

Mr. Emiel HARTOG

Market Specialist

Firet b.v., Veenendaal, The Netherlands

SUMMARY

Firet b.v. producer of "non-wovens", has developed six years ago a material which is used as light core material for GRP products. The high performances of end products is obtained through a perfect resin impregnation of the PVDC-filled COREMAT.

## COREMAT - NONWOVEN RESIN CARRIER FOR FRP CORES

EMIEL HARTOG

FIRET bv, VEENENDAAL HOLLAND

### INTRODUCTION

Over the past decade nonwovens have gained acceptance in the world FRP industry as a resin carrier primarily for surface protection. Synthetic veils have been developed for such applications as pipe and tank wrapping, but also for compression holding of industrial components in FRP, that require glass-free in or exterior surfaces.

FIRET bv Holland have played a major role in the development of these surfacing veils for applications such as:

1. Pipes for chemical and petrochemical installations
2. Railroad Barriers
3. Ski's incorporating epoxy-bonded layers of metal
4. Trackspoilers (winddeflectors) etc.

In 1975 FIRET bv Holland introduced COREMAT. A random nonwoven tissue containing microspheres to be used as a

### - STRUCTURAL CORE RESIN CARRIER

The material provides the answer to the design gap that exists between the industries' conventional choices:

SOLID		SANDWICH
GLASS RESIN	and	LAMINATES
LAMINATES		

The development of COREMAT has opened new ways to build isotropic laminates with advantages such as:

- ° low core density (0.65)
- ° high interlaminar shear strength
- ° reduced resin usage (2 ozs./sq. ft./ .040" gauge)
- ° compound curving
- ° rapid impregnation (hand lay-up and spray up)
- ° labour time savings

### PRODUCT TECHNOLOGY

Nonwoven technology enables the formation of a random web of polyester fibers, held together by a styrene-soluble binder and expanded by 50 volume % microspheres to thicknesses of 1-2-3-4-5 mm.

COREMAT is produced at 100 cm. width and supplied on 50 m. (55 yds.) rolls. It has a standard triangular perforation in all thicknesses from 2 mm. to provide rapid wet-out characteristics with all standard polyester resins of low- and medium viscosity (up to 1000 cps.). The presence of 50% (by volume) microspheres allows for reduced resin consumption in laminate cores using COREMAT, compared to glass mat or or spray roving in equal thicknesses.

The following cart shows resin consumption per square meter per thickness:

Core Gauge (mm.)	Weights (grams per square meter)			
	GLASS and RESIN		COREMAT and RESIN	
1	450	900	40	600
2	900	1800	80	1200
3	1350	2700	120	2400
4	1800	3600	160	2400
5	2250	4500	200	3000

Impregnation times for full wet-out range from 20-50 seconds depending on thickness and resin viscosity.

The styrene soluble binder allows for double contour molding, which has particular advantages in marine applications but also for many industrial uses.

For closed-mold processing such as (vacuum-) injection or low temperature compression techniques the standard grades of COREMAT 2424 and P2430 are not suitable since "squeeze-out" will occur under vacuum or pressure, thereby reducing the actual core thickness and reducing the desirable resin content. A new grade P2440 with a hard binder was recently developed and will be available in 2 and 3 mm. thickness in the 2nd quarter of 1980 for the above mentioned processing techniques.

#### APPLICATIONS AND MATERIAL BENEFITS

Initial material acceptance was most rapidly achieved in the recreational boat market for:

- . dinghies (from 10 to 20 ft. length)
- . sailing yachts (up to 40 ft. length)
- . power boats (up to 30 ft. length)

based on prime advantages such as:

- . improved rigidity
- . design freedom
- . reduced weight
- . labor and material savings

COREMAT applications are now found amongst leading yacht and boat-builders, such as Cruisers, AMF Crestliner, Performance Sailcraft, Beneteau, Winga Mairn, Dehler Yacht, Islander and others in the U.S.A., Europe and the Far East.

Specific benefits to the marine industry are:

- . freedom of roving-print or sandwich-print
- . reduced labor cost over multi-layer glass lamination
- . up to 30% weight savings vs. sandwich construction

The material does not offer basic tensile strength contributions and should therefore be laminated between layers of glass or hybrid fibre reinforcements. COREMAT can successfully reduce laminate weights when placed in the neutral zone of a flexurally loaded laminate. In mat or "chop" laminates 50-65% of total thickness should be COREMAT, whereas with woven roving outer skins up to 75% of total laminate thickness may be COREMAT.

The compressive strength of impregnated and cured COREMAT cores is comparable to that of mahogany wood and offers:

- . good impact performance
- . easy screw holding without back-up reinforcement

latest marine applications also include:


- . patrol boats
- . fish kotters
- . deck and superstructure build-ups

Industrial uses are found in the following areas

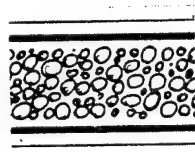
- . building and construction
- . containers for storage and transport
- . transprotation cabins and components
- . swimming pool modules
- . panels

#### ECONOMY ASPECTS

Material and labor savings may vary depending on actual application. Reductions on total product weight of 10-20% are not unusual. As an example the following 6.4 mm. glass laminate was revised:

	1 x 300 g/m2
	5 x 450 g/m2
	1 x 300 g/m2

replacing 3 center layers of 450 g/m2 glass with 1 layer of 4 mm. COREMAT:

	1 x 300 g/m2
	1 x 450 g/m2
	. COREMAT 4 mm.
	1 x 450 g/m2
	1 x 300 g/m2

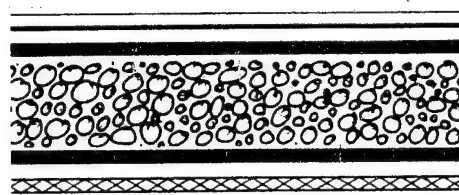
giving an increased total thickness of 7.4 mm. and resulting in:

- . 30% improved RIGIDITY
- . 19% reduced WEIGHT (6.900 g/m2 vs. 8.550 g/m2)

Considering labor time, COREMAT dies offer processing advantages over sandwich materials such as balsawood, pvc- or polyurethane foam, since the material does not require interruption of lamination for "setting" of th resin.

Most economic ticknesses for COREMAT are found in laminates from 4 up to 16 mm. Thinner laminates may use the material benefits where ever marginal weight savings are crucial, such as in canoes. Thicker laminates may require sandwich materials unless design prohibits such use.

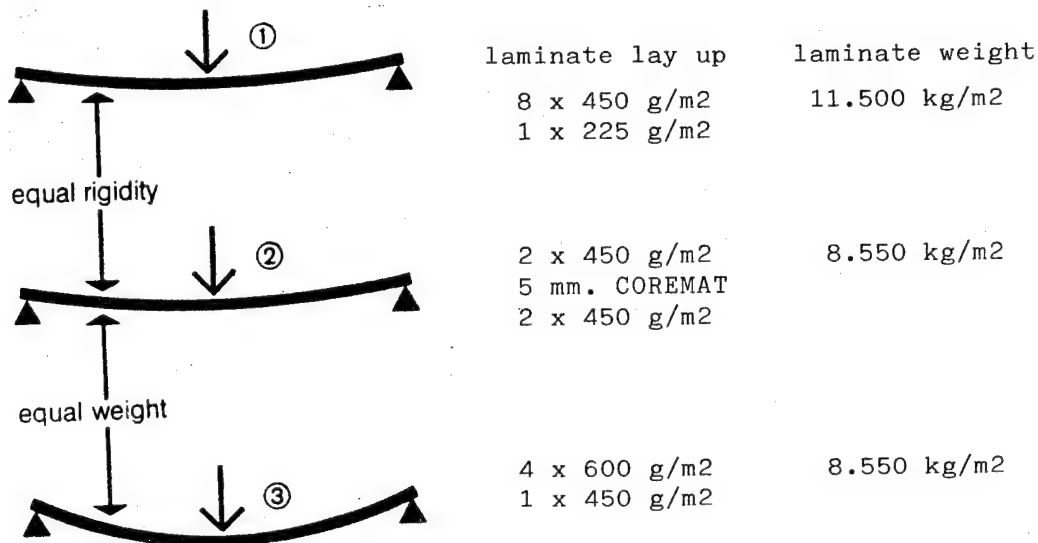
The weight saving advantages are particulary demonstrable in the marine industry, where National Coast Guard requirements call for positive flotation of boats with carrying capability of passengers in emergencies. The following is an example of a floating laminate:



gelcoat  
300 g/m<sup>2</sup>  
450 g/m<sup>2</sup>  
5 mm. COREMAT  
450 g/m<sup>2</sup>  
600 g/m<sup>2</sup>

Total thickness: 8.7 mm.  
Weight : 8,2 kg/m<sup>2</sup>  
Density : 0.94

Another way of looking at weight and rigidity is given by the following test laminates



The COREMAT laminate (2) offers TWICE AS MUCH RIGIDITY at equal weight vs. (3) and a 45% increased thickness at which rigidity a full glass-resin laminate (1) would WEIGHT 34% MORE.

#### PROCESSING

Fast build up in thickness is possible also with more layers of COREMAT. When building over 16 mm. cores a stop is preferred with a layer of 300 g/m<sup>2</sup> glass before interrupting.

Because of COREMAT'S insulation characteristics through the presence of hollow microspheres accelerator and peroxyde quantities should be reduced for heavy core thicknesses (10 mm. and up) to avoid pre-cure temperatures exceeding 100°C COREMAT requires only 50% by volume resin for full saturation and the material can be processed dry in wet (one third of resin before lay-up, two third on top of COREMAT). Moderate rolling-in is recommended to ensure full saturation. Excess resin will easily float up and may be used for wet-out of consequent layers of glass.

# AVAILABILITY

## COREMAT Grade

## THICKNESS (mm.)

## HOLDING TECHNIQUE

P2424

1

hand lay-up, spray up

P2430

2, 3, 4, 5

hand lay-up, spray up

P2440

2, 3

Vac. injection, compression



GRP - CONTRIBUTION TO A DEVELOPING ECONOMY

Mr Jatindar LAKHANI,  
Works Manager,  
Roplas (India) Limited, Poona, India

SUMMARY

Although the annual consumption of GRP in India is negligible as compared to that of some of the advanced countries, certain items made out of this material have made a significant contribution to the India's developing economy. The paper will specifically deal with such items and illustrate as to how they are playing an important part to develop India towards self-reliance and future well being.

## GRP - CONTRIBUTION TO A DEVELOPING ECONOMY

Mr. J. Lakhani

Works Manager,  
Roplas (India) Limited,

Pimpri,

India.

### INTRODUCTION

India - the land where centuries co-exist.

India - the land where gaunt holy men in their dhotis, bathing in the sacred waters of the Ganges; grotesque beggars in Bombay, soliciting a few paise from passers-by; sack cloth and cardboard shanty towns of the landless alongside country roads.

That India still exists. But there is another India that ranks tenth among the industrial nations of the world. Last year it marketed goods worth over 7000 million U.S. Dollars. More than 10% of this was "Engineering Goods" that range from small lathes and scooters to entire textile mills and power stations. India has the biggest railway system in Asia (third largest in the world), a rapidly growing electric-power network, ship building and aircraft manufacturing and increasingly modern communications.

It is needless to emphasize the important role which a versatile material like Reinforced Plastics can play in developing this diverse economy. The products made of this material find applications in areas right from the satellite launch vehicle to the manufacture of light weight bullock cart. Its excellent Chemical resistance makes it ideal for combating the corrosion problem that drains national resources.

#### THE CONSTRAINTS

The present consumption of RP in India is not at all substantial as compared to most of the Western countries. (See TABLE I). Some of the major reasons for this discouraging state of affairs are given below:-

i) Evolving indigenous processing know-how : It has never been easy to import technology in India. The emphasis, and rightly so, has always been on evolving indigenous know-how and reshaping First world designs to Third World needs. However, this has sometimes resulted in slow growth rate. Some Research Organisations are doing useful work in this respect. However, the results of their research are not yet being fully transferred to the Industry.

ii) Setting up effective/efficient moulding units :

Requirement of very small capital investment has resulted in mushroom growth of moulding units, some of whom are only interested in making quick money. Sharing of \$ 12.5 million worth RP business by Four Hundred and odd moulders does not augur well for the Industry.

- iii) Lack of many Indian specifications : This has proved to be a great handicap. However, a beginning has been made by introducing standards on Raw Materials. Various American & British Standards are also being used increasingly.
- iv) Propogating the use of RP : This has been slow inspite of number of functional advantages offered by RP. Little work done by some of the raw material suppliers and moulding units is slowly helping in removing doubts regarding strength, paint adhesion, fire resistance and repairs.
- v) High Prices : Perhaps the biggest bottleneck for larger consumption has been the unimaginative taxation policy. Excise duty of 29% and 15% is at present being levied on Resins & Fibreglass respectively. This coupled with higher costs due to low demand has resulted in raw material prices in India being almost three times the international prices.
- vi) Developing Ancillary Industry : Lack of good quality ancillary materials like pigments, brushes, rollers etc. has also been a handicap. However, these items are becoming increasingly available in better qualities as their demand increases.

#### THE PERFORMANCE

The basic infrastructure required for the growth of the industry is however present. Both the major Raw materials - Fibreglass and Polyester Resin - are being produced indigenously in sufficient quantities. The knowhow and competence for the proper and effective use of this

material is also available. It is due to these assets that the consumption of Reinforced Plastics in India has increased four fold in the seventies.

Here is some of the work being done with RP in different fields :-

**Corrosion Resistant Industry :** This field constitutes the largest outlet of RP in India & will continue to do so for some more time to come. Main reason for this is RP's comparable prices to conventional materials like copper, lead and rubber lined steel. It is infact much cheaper to stainless steel, which has to be imported in large quantities.

RP, as a lining for steel and by itself, is being widely used for storing, processing and transportation of a large number of chemicals. It has almost replaced rubber lined mild steel tanks for storage of acids. Storage tanks and process vessels of upto 100 tonnes capacity are being made. RP tankers mounted on lorry chassis are being adopted as a routine for transporting corrosive chemicals. Chemical process pipe work is another area where reinforced plastics are gaining acceptance. More and more hoods, ductings, scrubbers and chimneys are being fabricated due to greater awareness of pollution control. The corrosive nature of sub soil in most parts of the country has opened up another potential area - that of tubewell pipes. Dual laminates using rigid PVC, PP and HDPE as an inner liner are also finding increasing use in chemical engineering equipment.

**Dairy Industry :** Early seventies saw the launching of 'Operation Flood' with assistance from World Food Programme for the development of

the Dairy Industry in India. National Dairy Development Board was on the look out for ways and means of keeping the project cost low while ensuring high quality milk handling equipment. It was in such favourable circumstances that Food grade resin was developed in India and RP made the grade as the matchless construction material in the dairy industry.

Delhi is the second city in the world, after Mexico, where Milk is supplied from Bulk vending units. In each one of these two hundred units in Delhi, RP has almost eliminated stainless steel. Confidence reposed in RP for use in the dairy industry was further justified by the development of Asia's first RP Road Milk Tanker. The prototype has successfully completed 40,000 km run. Considering the present state of know-how it is creditable that India has achieved so much in this critical field.

**Protective Wear :** Substantial quantity of RP is consumed in the manufacture of Helmets of different types. Light weight bullet proof ~~army~~ helmets in RP have been successfully developed. They are being produced in large quantities now because of their number of advantages over old NATO type steel Helmets. RP is the only accepted material for crash helmet shells. These are again required in large number as more than 200,000 two wheelers are produced every year. RP is also used for miners' safety and policemen's helmets.

**Fishing :** It is said about the seas on Indian coastline that out of 1000, fishes, 999 die of old age without being caught. This shows the

vast potential of fishing craft in India. Past few years have seen the development of mechanised fishing and the emphasis has been on encouraging traditional fishermen to form co-operatives. Small trawlers 8 meter long, now being made in India, are finding increasing acceptance because of their higher capacity, ease of maintenance and longer life, inspite of their higher price in comparison with timber crafts of equal length. Even the existing timber boats are being sheathed with FRP for protection against sea borers. Fish Holds are also being made in increasingly large numbers.

Road Transport : Building Roads is a costly proposition. Inspite of the best of efforts large parts of India are connected by tracks which can only be used either by Bullock carts or 'Jeep' type vehicles.

About 12,000 numbers of 'Jeep' vehicles are being sold per annum. These have body of steel frame work covered with water proof canvas. Desire for passenger comfort and safety has resulted in the requirement of a proper body. FRP has almost totally replaced steel in this application because of its number of advantages including lighter weight and much less time required for body fittment. Percentage of new 'Jeeps' fitted with FRP body was 10% in 1976. In 1978 it increased to 25%.

Success of an RP body has helped in increasing the confidence. Last year a three wheeler car with complete RP body was introduced in the market. Even a Driver's Cab for a Commercial Vehicle in RP is being considered. For the present parts like Engine Cover, Fenders and Dash boards are being made in RP.

Scooter and motor cycles are the most popular modes of privately owned transport. All the manufacturers have tooled up for steel body panels, rendering RP uncompetitive. However as cars are beyond the reach of most of the Indians, side cars are being seen on the roads in increasing numbers and RP is making a steady in-road as a body material.

Rail Transport : India stands third in operating length and utilization of railways next only to U.S.A. & U.S.S.R. Importance assumed by Railways in India in the field of transport cannot be underemphasized. Besides increasing rail length, efforts are continuously being made towards better utilization of existing length. This means increasing pay load and speed. Efforts in this direction have led to trials of various items in RP. Coach seats, window panels, wash basins and wall protectors are being increasingly used. Some other items like Roof water tanks, sliding doors and complete bathroom cubicles are under extensive trials.

Construction : Contrary to the general rule, RP has not made much headway in the field of Building and construction. A few corrugated roofing sheets and bath tubs are the only outlets.

As of March 1979 India faced a shortage of a total of 19.7 million houses- 14.8 in the rural areas and 4.9 in the urban areas. To close the gap by the end of this century a total of 4.5 million houses will have to be built every year - 3.3. million in the rural areas and 1.2 million in the urban areas. To fulfil this mammoth task different organizations are



considering and trying out different materials. Jute Reinforced Plastics is one of them and appears to be promising. The designs of the two alternatives are shown in Figure IV. Both the types are easy to erect and elaborate foundations are not required.

Consumer Goods : Due to high cost of RP & very small numbers of affluent persons in Indian society, the market of RP in this field is low. However luggage ware and decorative trays are quite popular. RP chairs are now being increasingly used at various Airports and other public places. Production of sports goods in RP is limited to Diving Boards.

It may be generally mentioned that a high level of professional competence is already achieved in Contact moulding. Moulders and some of the end users are well aware of the capabilities and limitations of this process. It is felt that for most of the items, this technique will continue to be used. Viewed from the wider national angle of employment potential this is a blessing in disguise as employment ratio per amount capital invested is high.

#### THE PROMISE

The Indian Reinforced Plastics Industry is well poised for rapid growth. The rate of growth will depend to a large extent on the growth of the Indian economy in general. Most of the RP consumption is either as constituent parts for other industries (e.g. tanks and pipes for chemical plants, bath tubs for hotels etc.) or dependent on other industries (e.g. helmets on the production of two wheelers). It is obvious that the

rate of growth of RP has a relation to the rate of growth of Industrial production. For the last eight years, the ratio of rate of growth of Reinforced Plastics consumption to the rate of growth of Industry has been found to be 5.4 (See TABLE II).

It is estimated that Industrial growth in India is likely to be between 5 to 7% for the next few years. Hence it will be quite reasonable to expect a growth rate of over 30% for the RP Sector i.e. a consumption of approximately 10,000 tonnes in 1983-84. This is however subject to the fluctuations that should be expected in a new industry, but over a period of several years these fluctuations could become negligible. As mentioned earlier the largest single factor against the faster growth of RP has been the very high prices of the Raw Material in India.

However, it is expected that as the demand increases and as the competition becomes more severe, the prices will fall. On the other hand the prices of materials RP substitutes e.g. Steel, Brass, Aluminium etc. are expected to increase. Moreover, realising the great employment potential of RP industry the Government is also likely to reduce the levies. A step in this direction was taken by the new Government, when it reduced the excise duty on Polyester Resin from 40% to 29%.

Compared to the Annual consumption of RP in the industrialised nations, the scale of operations and annual production in India today are very small indeed. Nevertheless India, does possess the necessary raw materials, know-how and competence for the proper and effective use of this material - a combination of assets not found in many developing nations. It is therefore hoped that Reinforced Plastic Industry will play an increasingly important role in the economy of India.

\*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*

T A B L E - I

RP Consumption and growth in various countries

Country	Area in Sq. Km.	Population of 1977 in million	GNP of 1977 in US \$ million	RP Consumption in tonnes		Growth in % age.
				1971	1977	
U. S. A.	9,363,000	216.82	18,74,270	435,500	819,100	89.0
W. Germany	247,000	61.40	5,00,930	91,000	118,700	30.0
France	547,000	53.08	3,87,060	55,000	89,900	63.5
U. K.	245,000	55.85	2,47,170	53,000	73,500	38.5
Italy	301,000	56.45	1,94,520	39,000	56,100	44.0
Benelux	73,000	24.04	1,76,240	15,000	23,000	53.0
India	3,288,000	625.82	97,370	700	2,200	214.3

**T A B L E - II**

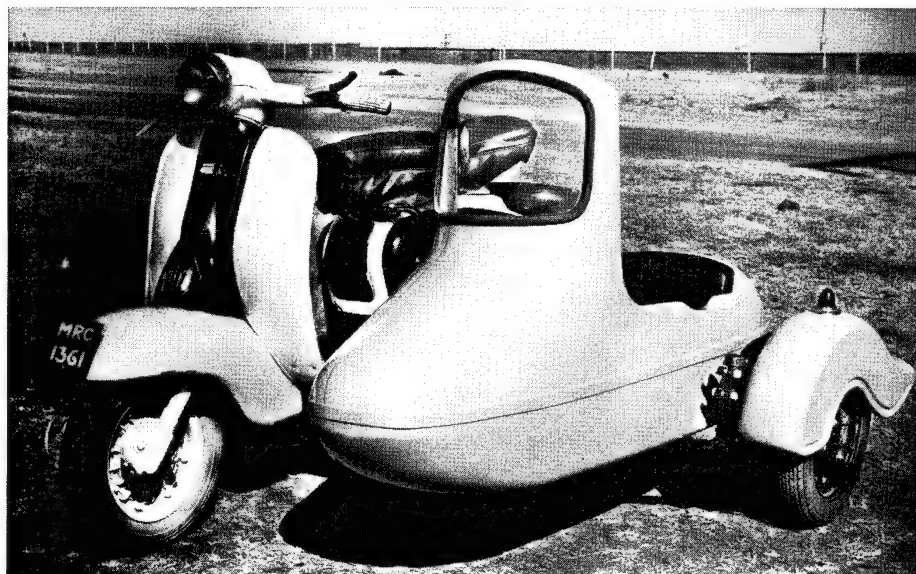
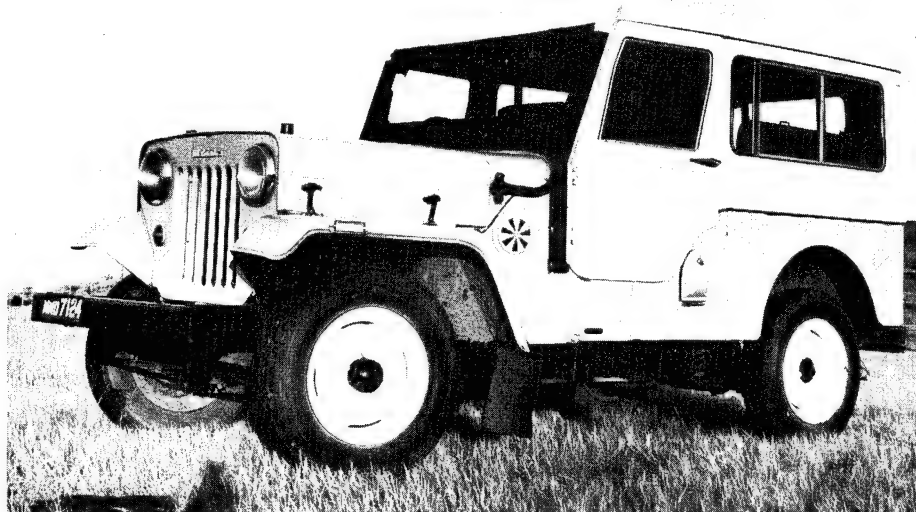
**Comparison of Rate of Growth of Industry & RP**

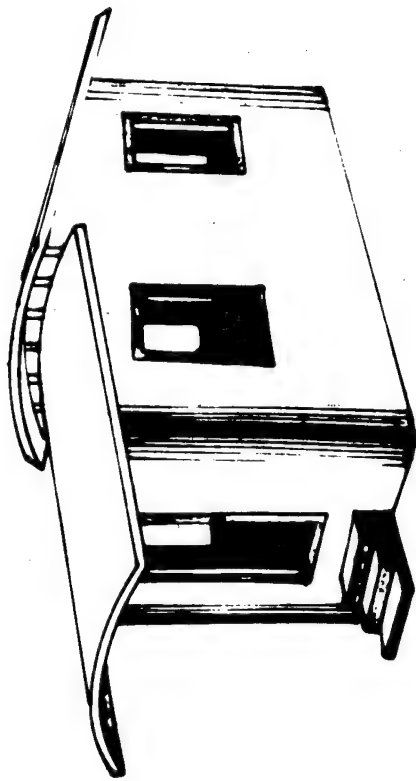
Year	Index of Industrial Production	% increase over previous year	RP Consumption in tonnes	% increase over previous Year.
1970-71	100.0	5.2	630	60.7
1971-72	104.2	4.2	686	8.2
1972-73	110.2	5.8	1148	67.3
1973-74	112.0	1.6	1680	37.6
1974-75	114.3	2.1	1120	-33.3
1975-76	119.3	4.4	1400	25.0
1976-77	131.3	11.0	1718	22.7
1977-78	139.2	5.5	2196	27.8

Average rate of growth of Industrial Production = 4.975 %  
Average rate of growth of RP Consumption = 27.000 %

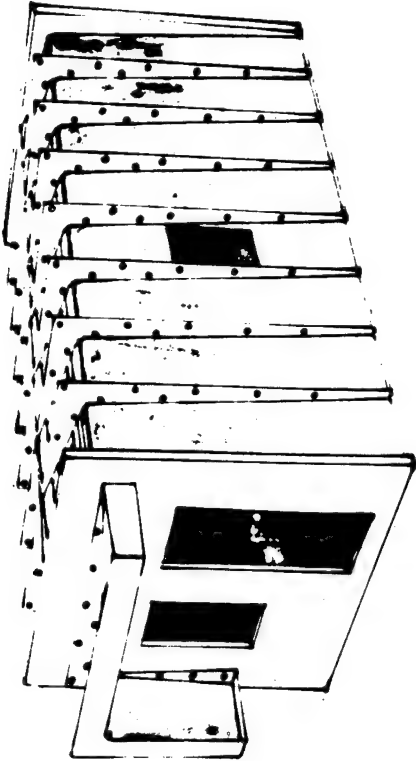
PHOTOGRAPHS

1. Road-milk tanker
2. Jeep body kits
3. Scooter side car
4. Low cost housing





(FILAMENT WOUND TYPE)



(MODULAR TYPE)

JUTE REINFORCED POLYESTER HOUSES

## GRP IN JAPAN - PRESENT & FUTURE

Mr. E. SHIN,

Marketing Manager

Asahi Fiber Glass Co Ltd, Japan

### SUMMARY

It is some twenty-five years ago when the first GRP moldings were marketed in Japan. Since then, the major applications of GRP in this country has been rather in the Construction or Residential area. The typical products were, for example, sheetings, sewage storage/processing tanks, bath tubs, etc. This paper shows you the growth of Japan's GRP shipments in the past, and reviews the breakdown of present GRP applications by market. One of the programs that the Japan Reinforced Plastic Society's promoting is the cooperative work among the Society's member companies for developing/building new products/markets of reinforced plastics composite materials. Based on findings and results worked out by this working group of the Society, the trend and rough picture of GRP business/industry in the future is to be presented. It will be so interesting that Japan's GRP business/industry can be compared with those of European countries, and the exchange of various information relative to GRP will be of big value to people in this business world.

Text to be distributed at the Symposium

## EARTHQUAKE-PROOF TEST OF SECTIONAL WATER TANK

Mr. K. HAGA

Section Manager,

Bridgestone Tire Co, Ltd, Tokyo, Japan

### SUMMARY

The market size of water tank for building, high rise apartment and public facilities has arisen to almost 200 million dollars in Japan. Sectional water tank constructed by bolting squaremeter GRP panels, the volume of which ranging from 1 to 1000 cubic meter, are more advantageous than other types and materials in easiness of construction, anti-corrosion, no algae growth and so on. To obtain market reliability, there are many quality requirements like panel strength, construction-easiness, protection from cold to prevent ice growth, etc. This paper reports how sectional water tank is tested and quality-controlled to protect from damage by earthquake. The importance of earthquake will be also shown in the movie.



TITLE OF THE CONTRIBUTION	EARTHQUAKE-RESISTANCE TEST OF GRP SECTIONAL WATER TANK
Author(s) name(s)	Kazuo Haga
Address	2800-1, Ogawa-higashimachi, Kodaira, Tokyo 187, Japan Bridgestone Tire Co.,ltd

1. Outlook of Material on Water Tank

Water is one of the indispensable things for our every day life, and water tank is mostly needed instrument to supply water.

Water tank is generally made of iron, concrete, wood and GRP.

Iron is corrosive, so its surface should be coated to protect it from corrosion. Concrete is susceptible to crack, through which leakage of water occurs. Wood tends to go to rot, and life time is comparatively short. When a large scale of water tank such as a hundred tons or more is required, wood can not afford it.

On the other hand, GRP is light-weight, anti-corrosive and durable, and is suitable to use as a principal material to make water tank.

2. A Large Scale Earthquake-Resistance Test of GRP Water Tank

Generally, GRP water tank is light-weight, anti-corrosive and durable. But, if it is not designed according to right structural design method, the water tank will be destructed by the outer force caused by earthquake.

Miyagi-Earthquake in 1978 caused damage to, mostly, handlay-up GRP water tanks, which were designed without right calculation method and value against earthquake.

On the other hand, sectional water tank constructed by bolting up one meter-square GRP panels with steel tension-rod reinforcing system, remained almost undamaged and worked well during and after the earthquake. The result was a consequence of two factors: one is that the sectional water tank is designed and constructed with earthquake-resistance design concept, the other one is that the GRP panel is processed by qualitatively highly reliable compression molding of SMC.

From the early stage of manufacturing and marketing GRP sectional water tanks, we have calculated structural design, taking into consideration not only static hydraulic pressure but also dynamic hydraulic pressure by sloshing which occurs by horizontal vibration of earthquake.

In 1977, a year before Miyagi-Earthquake took place, we conducted a large scale earthquake-resistance test to confirm and establish a right earthquake-resistance design method.

The result of the test now supports the Bridgestone GRP

sectional water tank.

3. Investigation of the Standard for Design and Construction of Earthquake-Resistance Water Tank

In Japan, standard value of horizontal vibrational acceleration rate by earthquake was determined 0.3G on the roof of the building according to the Architectural Standard.

On the contrary, in case of Miyagi-Earthquake, it is recorded that the horizontal acceleration rate was as high as 1G on the roof of the building, where water tanks are usually constructed.

It was recognized by the Government that it is important to establish the structural standard with right calculation method and horizontal acceleration rate value to design and construct water tanks in accordance with vibrational response of the building.

The Japan Reinforced Plastics Society has actively worked to establish the Earthquake-Resistance Structural Standard in cooperation with the Government. It is now approved by the Government and in effect.

4. In 1979, GRP industry in Japan reached 200 thousand tons of production and is forecast to exceed over 300 thousand tons in 1982. We think the key factor for this success is a consequence of the effort of the Japanese GRP industrialists to offer GRP as a reliable material in the market.

A large scale earthquake-resistance test of GRP sectional water tank should be understood as an example of Japanese GRP industrialists' efforts to establish the liability of GRP products and to put more acceptable products into the market.

## COST PERFORMANCE ANALYSIS OF THE FISHING VESSEL IN GRP

TATSUNDO KITAMURA

The JRP Society, Tokyo, Japan

### ABSTRACT

For several years, in Japan, Marine and Marine Accessories areas have largely grown up in shipments in the total demand. This is mainly owing to the growth of construction for GRP Fishing vessels. And there is no other reason than Cost Performance excellency in GRP was realized by Vessel Owners and Government.

The following paper outlines,

1. Marine and Marine Accessories Area's Position in GRP in Japan
2. The Fishing Vessel Fleet of GRP and other materials
3. Excellency of GRP cost performance in 59 GT Type Fishing Vessel, particularly,
  - 3-1. Excellency in Energy Saving
  - 3-2. Excellency in Cost Saving

I'd like to add that the Planning Committee for Development in Fiber Glass Association, has been looking over excellency of GRP again, considering the recent raw oil and raw material rising up.

And, this is one of the results of our re-confirming the value of GRP.

### INTRODUCTION

Marine Area Positioning and Fishing Vessel Fleet.

GRP shipments in Japan, 1979, Residential Area was at the top and Marine Area, at the second. The trend of Marine Area for five years is shown in Tab. 1. For the past five years, the growth ratio to the previous year in Marine surpassed that of the total growth ratio.

Almost all of Fishing Vessels are powered now and the Fleet Statistics is shown in Tab. 2. GRP Vessels share reached 37.3 %.

Next, classification by Size of Vessel and by Type of Construction is shown in Tab. 3.

1. In number, Fishing Vessels under 5 GT occupy an overwhelmingly large share.

2. By type of Const, Wood and GRP Vessels also occupy the largest share in the size under 5 GT. Steel Vessels, however, shows a result to the contrary.

3. The competition is now developed between Steel and GRP over middle tonnage Fishing Vessels.

## COST PERFORMANCE ANALYSIS and RESULTS in 59 GT TYPE FISHING VESSEL

At first, approach model for analysis is prepared. (Fig. 1)

1. Total using life of Fishing Vessel is broken up into each level.
2. Important components constituting each level are extracted and measurements are also prepared.

### A. Raw Material Level

The results are shown in Tab.4 as weight of Hull and ratio of Hull price to total price by materials.

1. At initial cost, there is 64,000 (\$) difference between GRP and Steel.
2. While, Steel Vessel in the same type weighs about 20 (t) - 25 (t) heavier than GRP. By making Vessel Hull with GRP, the weight can be well lightened.

### B. Hull Weight and Energy Consumption

#### a. Energy Consumption at Raw Material Level. (Tab.5)

Unit energy consumption is estimated 9,640 (Mcal/t) in GRP and 6,230 (Mcal/t) in Steel. Energy consumption per vessel is 347 - 366 (Gcal/t) in GRP and 461 - 473 (Gcal/t) in Steel. By converting into raw oil qty. it becomes 38.6 - 40.7 (Kl) in GRP and 51.2 - 52.6 (Kl) in Steel.

As far as Raw Material Level is concerned, GRP Fishing Vessel saves 12.3 (Kl) energy in raw oil per vessel.

#### b. Energy Consumption at Operation Level. (Tab.6)

Fuel Oil Consumption through vessel operation was measured 364.3 (Kl) in GRP and 406.1 (Kl) in Steel. It was gotten by actual data on 26 GRP Vessels and on 59 Steel Vessels through a year.

The result shows that GRP saved 41.8 (Kl) fuel oil per vessel a year. This is mainly owing to light weight performance by GRP.

Tab. 7 shows that fuel oil performance by 1 (Kg) of catches of fish, a year, by 1 navigation, a year, by 1 day of navigation.

#### c. Energy Saving through Raw Material Level and Operation Level.

We tried to calculate how much raw oil we could save, if all the Fishing Vessels under 99 GT were constructed by GRP. (Tab.8) From the result of calculation, we got 262,000 (Kl) saving at Raw Material Level to the Gross Tonnage and 951,000 (Kl) at Operation Level per year to the Gross Horse Powers.

### C. Maintenance Cost Performance

Maintenance items for Fishing Vessel are the legal periodical inspection (every fourth year), the legal intermediate inspection (every two years), adjusting overhaul (every other year except second and fourth year) and re-painting (every year).

Maintenance cost by each item is shown in Tab. 9. Maintenance cost in GRP on every column, indicates overwhelmingly less than that of Steel. As the results summed up through 8 years, GRP Vessel saves about 58,000 (\$) in cost compared with Steel Vessel. Tab. 10 shows it in the form of each cost summed

up for 4 years.

#### D. Scrap and Recovery

Concerning scrap and recovery, we can not see the actual detailed situation. We suppose that in Steel, it will cost much when being scrapped and in GRP we have not seen the scrapped GRP Vessels yet.

In trial, we estimated that Steel Vessel (59 GT) was recovered at 4,000 (\$) as scrapped iron.

#### CONCLUSION

Cost saving performance and energy saving performance are summarized in Tab. 11, 12. Cost saving performance is shown in the form of added costs to GRP Vessel compared with Steel Vessel.

In total, GRP Vessel costs about 90,000 (\$) less than Steel Vessel through 8 years using life.

Energy saving performance is also shown through 8 years. By converting the figure into one year term, we can get about 43.3 (Kl) oil saving per vessel, a year.

Here, once more, if all the Fishing Vessels under 99 GT were GRP constructed, we could save about 983,000 (Kl) raw oil and this figure is almost proportionate to 0.4 % of the total imported oil qty. of Japan in 1978.

GRP Shipments for Marine and Marine Accessories

★

Tab. 1

	Shipments (1,000t)	Ratio to the previous year	Ratio to the pre vious year in Total Shipments
1975	25.6	108	91
1976	36.5	142	132
1977	41.1	113	107
1978	53.1	129	116
1979	62.3	117	120
★ ★ 1980	( 59.0 )	( 95 )	( 100 )

★ Unsaturated polyester resin only

★ ★ Estimate

Powered Fishing Vessels on Tidal Waters by Type of Cont.

	Numbers	Per ct. ( % )
Steel	9,466	2.5
Wood	230,342	60.2
GRP	142,729	37.3
Total	382,557	100.0

Tab. 2

Powered Fishing Vessels on Tidal Waters by Type of Cont. and by Size of Vessels

Tab. 3

	Total No.		Steel		Wood		FRP	
		%		%		%		%
Total No. ( % )	382,557 (100.0)	100.0	9,486 (100.0)	2.5	230,342 (100.0)	60.2	142,729 (100.0)	37.3
Under 5 GT ( % )	349,044 (91.2)	100.0	566 (6.0)	0.2	214,740 (93.2)	61.5	133,738 (93.7)	38.3
5 - 20 GT ( % )	24,280 ( 6.3 )	100.0	1,637 (17.3)	6.7	14,025 ( 6.1 )	57.8	8,618 ( 6.0 )	35.5
Over 20 GT ( % )	9,233 ( 2.4 )	100.0	7,283 (76.8)	78.9	1,577 ( 0.7 )	17.1	373 (0.3)	4.0

# Analysis Model

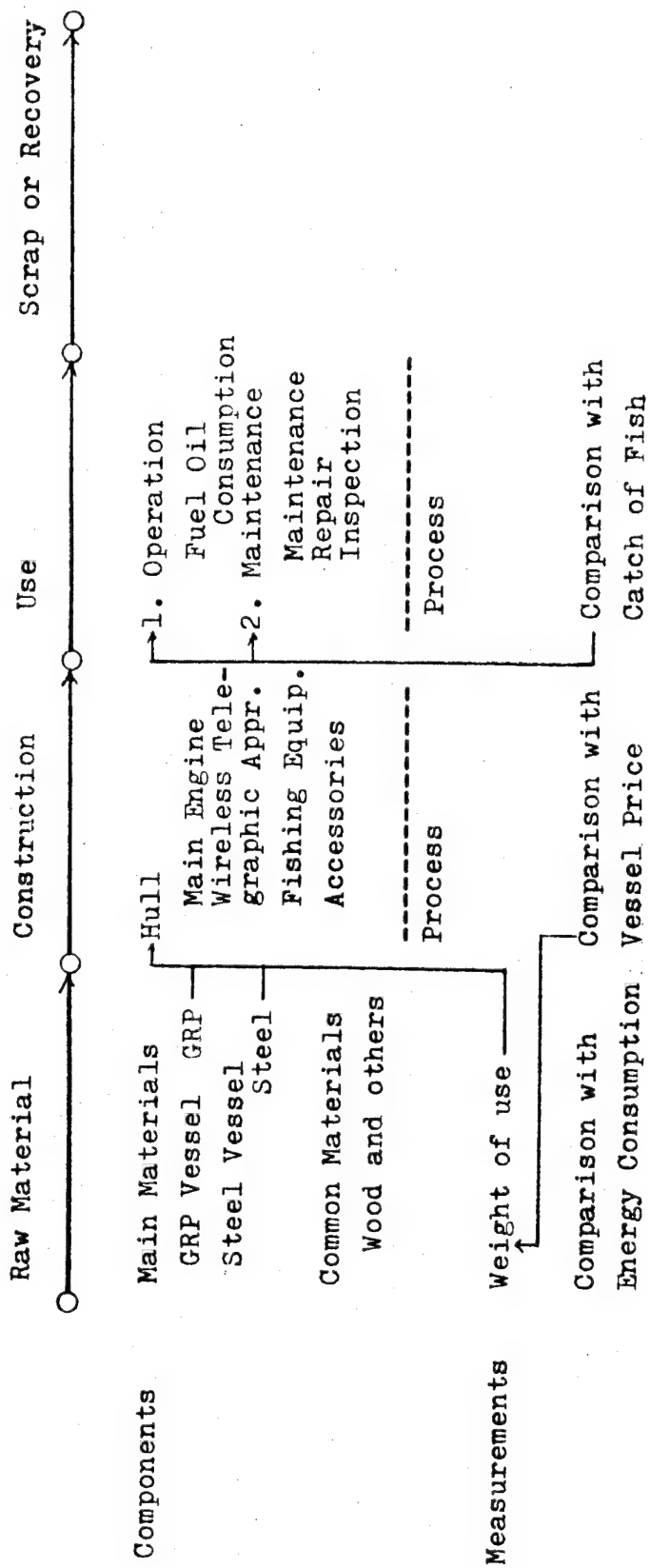


Fig. 1



Weight of Hull, Vessel Price and Ratio of Hull Price to Total Price  
by Materials ( 59 GT )

	GRP			Steel		
	Materials and Equipments	Weight ( t )	Price (1,000\$)	Materials and Equipments	Weight ( t )	Price (1,000\$)
Hull						
Materials	GRP Wood and others Main Engine and others . . .	36 - 38	92 ( 13.5%)	Steel Wood and others Main Engine and others . . .	74 - 76	28 ( 4.5%)
			680 ( 100%)			616 ( 100%)

GT: Gross Ton of a vessel  
Estimated US 1 ~~ton~~ = 250 ~~kg~~ \*

Tab. 4

Energy Consumption at Raw Material Level ( 59 GT )

	GRP	Steel
Unit Consumption of Energy ( Mcal/t )	9,640	6,230
Energy Consum- tion per Vessel	Raw Material Level Calories ( Gcal/t )	461 - 473 ( 467.0 )
	Conversion into Raw Oil * ( Kl )	51.2 - 52.6 ( 51.9 )
	Vessel Const. Level Calories ( Gcal/t )	
	Conversion into Raw Oil ( Kl )	
The Sum		

Tab. 5

\* Heating Calories of Raw Oil  
9,000 ( Mcal/Kl )

Fuel Oil Consumption and Catches of Fish by Operation

( 59 GT, per vessel, per year )

	GRP	Steel
Fuel Oil Consumption (KL)	364.3 ( 89.7 )	406.1 ( 100.0 )
Catches of Fish	Quantity (t)	374.4 ( 101.0 )
	in Value ( 1,000 \$ )	370.7 ( 100.0 )
Navigation	Days	456.7
	Times	212 ( 95.1 )
Days per Navigation		223 ( 100.0 )
		28.6 ( 100.0 )
7.1 ( 91.0 )		7.8 ( 100.0 )

Tab. 6

Fuel Oil Saving Performance by Each Item ( 59 GT )

item	GRP	Steel
F.O. Consumption per 1 Kg of catches, a year ( Kl/t )	0.973 ( 88.9 )	1.095 ( 100.0 )
F.O. Consumption per 1 Navigation a year ( Kl )	12.3 ( 86.6 )	14.2 ( 100.0 )
F.O. Consumption per 1 Day of Navigation ( Kl )	1.72 ( 94.5 )	1.82 ( 100.0 )

Tab. 7

Energy Saving at Raw Material Level and Operation Level ( 59 GT )

	Unit	( 1,000 Kl) Saving Qty.
Raw Material Level	to the Gross Tonnage	262
Vessel Const.Level	to the Gross Tonnage	
Operation Level	to the Gross PS ( per year )	951

Tab. 8

Maintenance Cost by Each Item ( a time ) ( 59 GT )

item	GRP ( \$ )	Steel ( \$ )
Painting Dock	1,400 ( 56.7 )	2,468 ( 100.0 )
Adjusting Overhaul	1,500 ( 24.3 )	6,168 ( 100.0 )
Intermediate Inspection	3,432 ( 31.0 )	11,056 ( 100.0 )
Periodical Inspection	4,632 ( 37.8 )	12,256 ( 100.0 )

Tab. 9

Summed Maintenance Cost ( four years )

	GRP ( \$ )	Steel( \$ )
Summed Maintenance Cost	16,664	45,544
Average Maintenance Cost, a year	4,166	11,380

Tab. 10

Cost Saving Performance through the Total Using Periods ( 59 GT )

	GRP ( 1,000 \$ )
Vessel Price	+ 64
Operation	- 100.3
<u>F. O. Saving Cost</u>	
Maintenance Cost	- 57.8
Scrap or Recovery	+ 4
The Sum	- 90.1

Tab. 11

Energy Saving Performance through the Total Using Periods (59 GT )

	Energy Saving Qty. per vessel ( Kl )	Energy Saving Qty. in Total ( 1,000 Kl )
Raw Material Level	12.3 (per vessel)	261.9
Vessel Const. Level		
Operation Level	334.4 (per vessel)	7605.4

Tab. 12

P O S T E R   C O M M U N I C A T I O N S

---



INJECTION PROCESSING OF POLYESTER DOUGH MOULDING COMPOUNDS

Mr. David PENNINGTON  
Plastics Reinforcement Department  
Pilkington Brothers Ltd, Lathom, England

For the summary, please see the introduction of the paper next page

# INJECTION PROCESSING OF POLYESTER DOUGH MOULDING COMPOUNDS

D. Pennington

Pilkington Bros. Limited,  
St. Helens,  
England.

## INTRODUCTION

Injection moulding of curable compounds was introduced in 1966 but it was not until early 1970 that it was applied to the processing of polyester moulding compounds (1). It is a volume production technique and consequently the preferred processing route for the manufacture of automotive parts. This paper presents some of the advantages of plastics over conventional materials and describes techniques to establish compounding and processing efficiency.

## METALS v PLASTICS

Whilst it is not possible to present comparable production costs, raw material prices based on the price/unit volume of zinc at 100 units highlights the price advantage of DMC, Fig. 1.

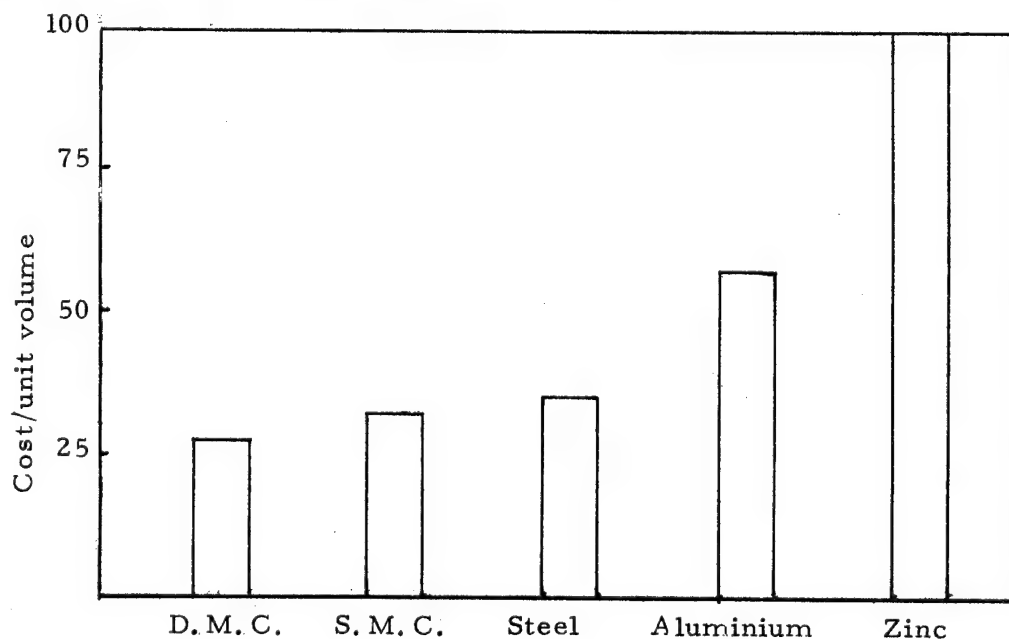


Fig. 1 Raw material costs based on zinc

As moulding compounds will flow under pressure complex shapes can be moulded in a single pressing operation. This permits parts consolidation, and by the use of inserts the moulding in of threaded holes, all of which would be separate operations with conventional materials. At this time the E. E. C. car industry is experiencing a recession which is suggested will continue into the mid 1980's. However, even though there will be little growth in car production in this period increased oil prices and competition will force car manufacturers into cost and weight saving exercises. The possible weight savings over conventional materials used in the automotive industries are given in Fig. 2 and are calculated on a volume to volume conversion.

Material	Density g/cc	% Weight Saving	
		DMC	SMC
Mild steel	7.80	74.4	76.5
Zinc die casting	6.6	69.7	72.3
Aluminium die casting	2.70	25.9	32.2

Fig. 2 Potential weight savings

## COMPRESSION v INJECTION PROCESSING

Although compression moulding is still the most important processing technique for SMC's and DMC's; the major processing developments in the past ten years have been in injection moulding, with an increasing number of moulders looking to the injection machine to produce parts faster and more cheaply than the most sophisticated compression press.

With its high capital equipment costs injection moulding is the preferred processing route for large volume production. It offers the moulder the potential for producing cheaper mouldings with:-

- (i) reduced cycle times
- (ii) fewer finishing operations
- (iii) improved dimensional accuracy
- (iv) less manual supervision.

Typical cycle times lie between 50-85 secs. Little flash requires removal unlike that encountered when compression moulding and as the mould is closed before injection it is easier to mould-in inserts and achieve improved dimensional accuracy.

## FIBRE DEGRADATION

Techniques used to process D.M.C.s involve a high energy input to wet out filler and glass fibre during manufacture and flow the material during moulding. This inevitably involves the degradation of the glass fibre influencing flow, mechanical properties and surface finish. It is important to assess the degree of degradation and how it is affected by processing and formulation variables in order to achieve optimum strength properties in the moulded part.

Fibre degradation occurs with the:-

- (i) filamentisation of fibre bundles
- (ii) breakdown of filaments into elements of shorter length.

It is not easily characterised, see Fig. 3 but a simple rapid wet-sieving technique has been described that separates out the heavily degraded material (2).

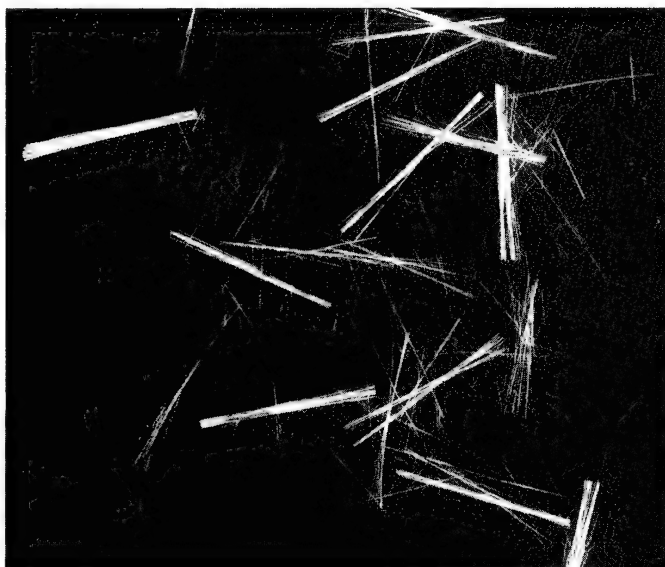


Fig. 3 Glass-fibres taken from a DMC Mag 2 x

## COMPOUNDING EFFICIENCY

The work done during DMC manufacture has been measured by recording the change in power demand by the motor during mixing and measuring the glass fibre degradation. 'Hard' (FGCS 1401) and 'soft' (FGCS 1617) glass fibre types are compared. In Fig. 4 the 1617 type degrades more quickly than 1401.

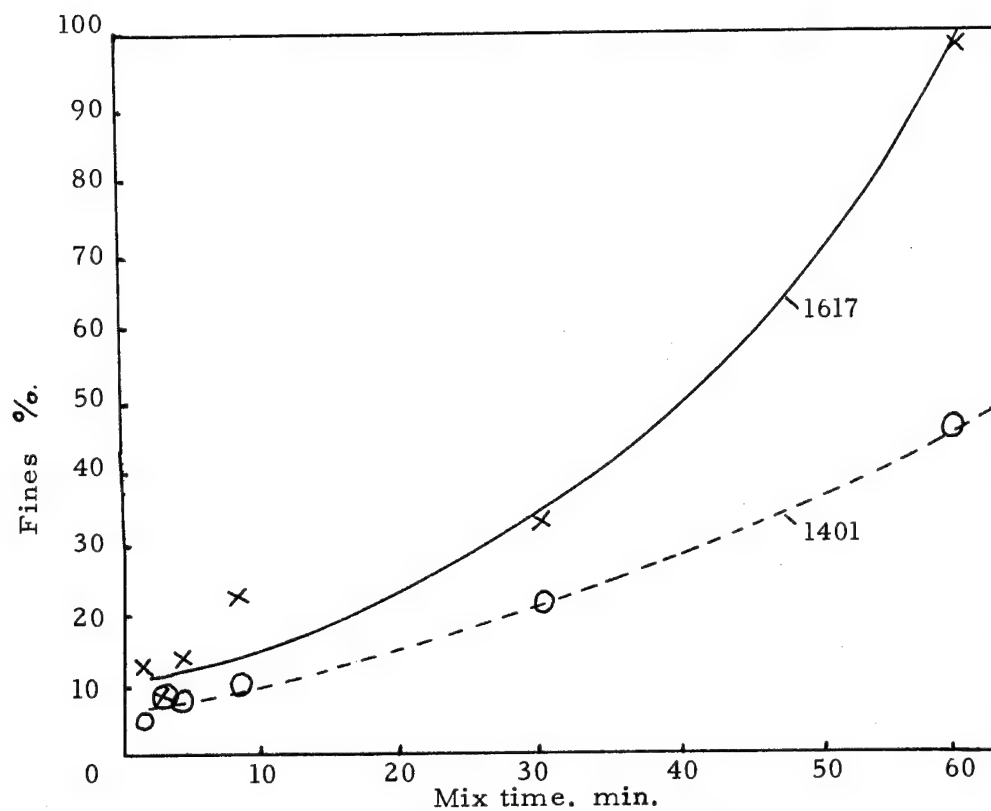


Fig. 4 % Fines v fibre mix time

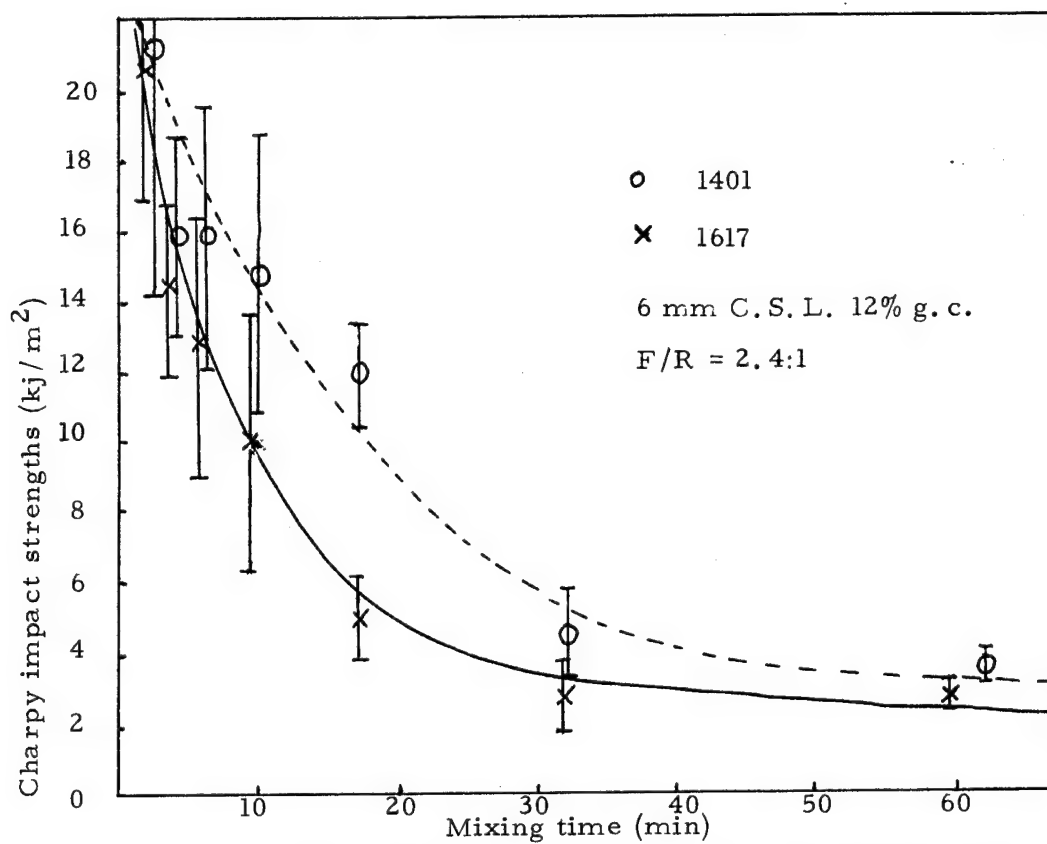


Fig. 5 Comparison of 1401/1617 D.M.C. impact strengths

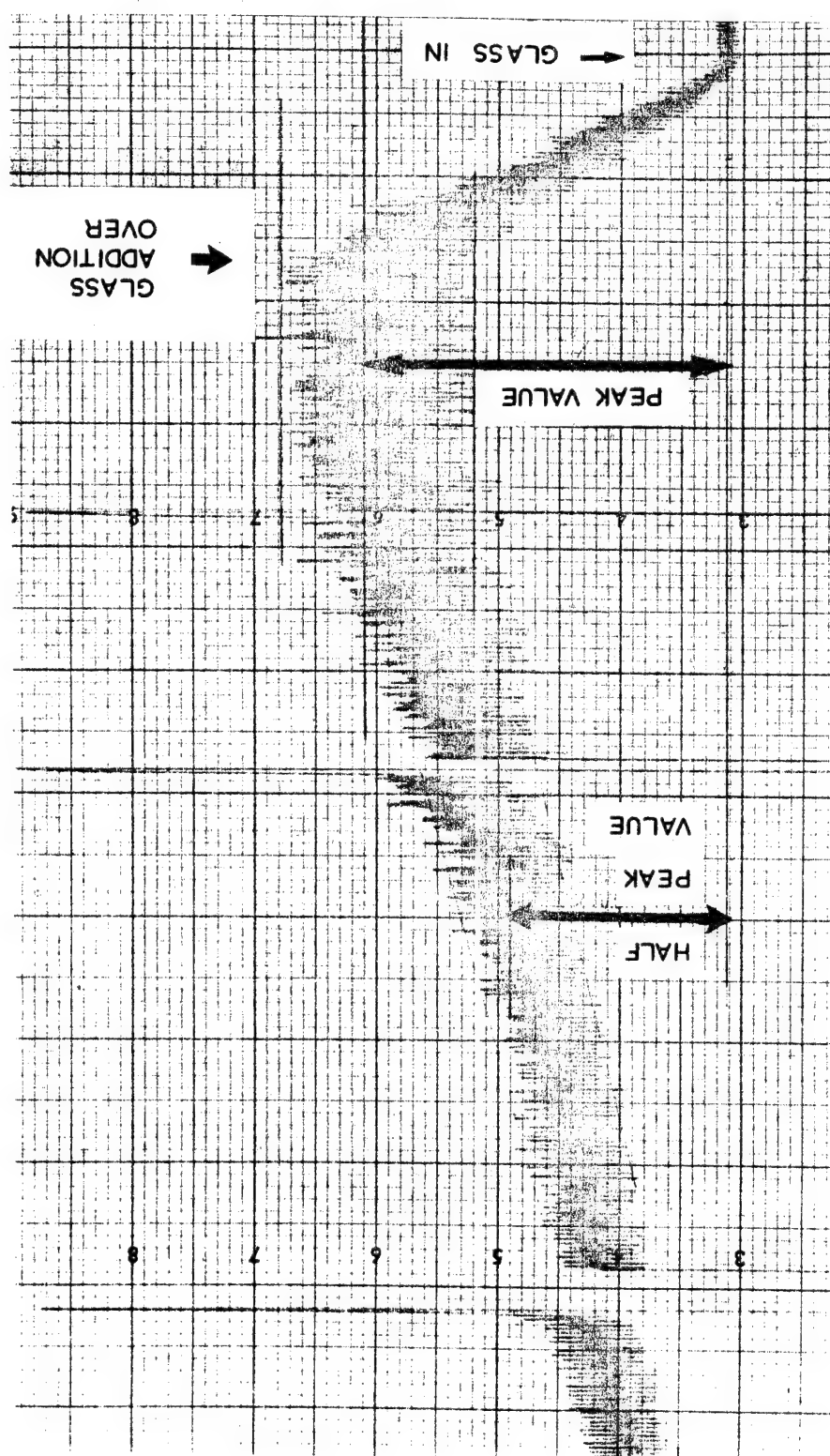


Fig. 6.1 Glass fibre type F. G. C. S. 1617, C. S. L. 12 mm, g. c. 10%

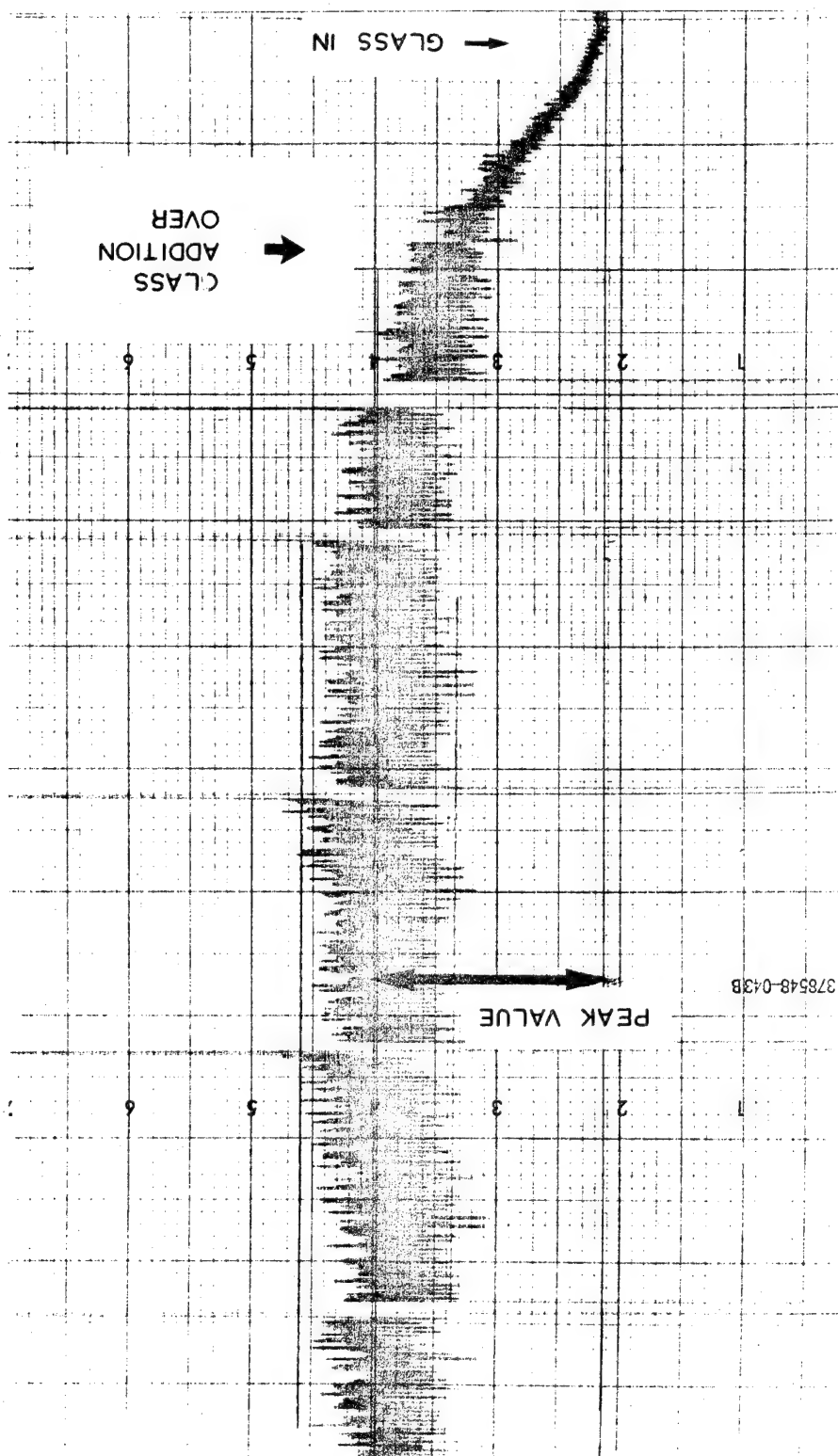


Fig. 6.2 Glass fibre type F.G.C.S. 1401, C.S.L. 12 mm, g.c. 10%

In Fig. 6.1 and 6.2 the power demand for the 1617 type is characterized by a rapid increase due to filamentization, increased viscosity and a rapid decay due to the resulting fibre degradation. The 1401 type requires less power for mixing and maintains bundle integrity, shown by a lower level of 'fines' in Fig. 4 and records an increased impact strength in Fig. 5.

It is believed that by instrumentization of the DMC mixer and use of the wet sieving technique, both described in detail in reference (2), (3), more effective control will be achieved of the compounding process.

## PROCESSING EFFICIENCY

Machine requirements for the efficient processing of D. M. C. are:-

- (i) forced feeding of DMC
- (ii) zero compression screw with non-return valve
- (iii) low barrel temperature 25-60°C
- (iv) mould temperatures 130-150°C
- (v) mould vents 0.05 mm deep x 10 mm wide.

The processing conditions required to produce mouldings without porosity and high surface finish are:-

- (i) high compound viscosities 2.5/1 - 2.8/1 filler/resin ratios
- (ii) machine injection pressures of 4 MN/m<sup>2</sup>
- (iii) screw back pressures of 0.7 - 1.4 MN/m<sup>2</sup>
- (iv) screw speed 40-100 revs/min.

Although glass fibres are degraded during processing with a resultant loss in composite properties. The different properties of the glass fibre types are maintained under optimised conditions during injection moulding, Fig. 7.

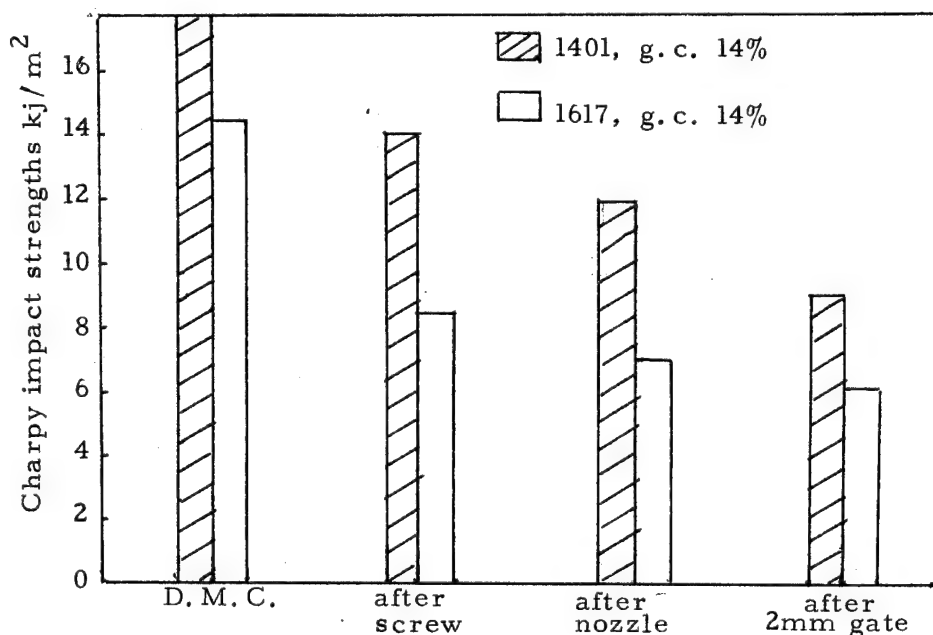


Fig. 7 Impact strength during injection processing



Glass fibre strands that are coated in a hard cured size coating, like F.G.C.S. 1401 will maintain bundle integrity and a high property level during injection moulding.

#### REFERENCES

1. Lohmann, W. Kunststoffe, 63, March, 1973, p.142-147.
2. Burns, R. and Pennington, D. 34th SPI Conference, Section 7D, 1979.
3. Parr, A.J. and Methven, J.M. 30th SPI Conference, Section 21A, 1975.

#### ACKNOWLEDGEMENT

This paper is published with the permission of the Directors of Pilkington Brothers Limited and Mr. A.S. Robinson of Group Research and Development.

LA REACTION AU FEU DE STRATIFIES POLYESTERS

FIRE RESISTANCE OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYESTERS

Mr Walthère FASSOTTE

Chargé de Recherches Principal, Section Polymères,

Institut National des Industries Extractives (INIE), Liège, Belgium

RESUME

La réaction au feu de divers types de résines de polyester renforcées de fibres de verre est envisagée. Il est particulièrement question de la correspondance entre le test français NF P 92-501 et l'indice d'oxygène. La composition des fumées de combustion est également abordée.

SUMMARY

The fibre resistance of various types of glass fibre reinforced polyesters is studied. In particular, we deal with the correspondence between the French test NF P 92-501 and the oxygen index. The composition of combustion fumes is also dealt with.

## LA REACTION AU FEU DE STRATIFIES POLYESTERS

W. FASSOTTE et P. TARTE

Section Polymères, INIEX, 4000 Liège, Belgique.

### 1. INTRODUCTION

Les normes belges NBN S 21-201 à 206 concernant la sécurité contre l'incendie imposent que les éléments destinés au bâtiment se situent indifféremment dans la catégorie M.2 à l'essai par rayonnement, NF P 92-501, soit dans la classe 2 à l'essai de propagation de flammes, BS 476 : Part 7.

Ces exigences sont étendues implicitement aux matériaux utilisés dans les moyens de transport en commun.

Tout fabricant d'éléments stratifiés polyesters doit donc s'intéresser à la réaction au feu du matériau qu'il transforme.

Des études de plus en plus nombreuses sont faites principalement sous l'impulsion de l'industrie, (1) (2) (3) et (4), elle-même sollicitée par une législation devenue de plus en plus sévère, pour améliorer le comportement au feu de produits à base de polyesters insaturés.

Les méthodes conseillées aux transformateurs pour atteindre les caractéristiques recherchées varient selon la structure chimique du polyester et selon la nature et la combinaison des additifs synergiques.

Dans le cadre de notre étude, nous avons choisi une résine polyester à base d'acide HET, contenant déjà 22 % de chlore comme additif primaire inclus dans la chaîne moléculaire, et nous examinons l'influence de plusieurs facteurs, autres que la résine, qui interviennent dans la réaction au feu des stratifiés.

Après avoir rappelé brièvement les principes de l'essai par rayonnement, nous décrivons successivement l'influence des taux de verre et de styrène, l'importance de l'épaisseur de l'éprouvette d'essai et l'apport d'additifs synergiques tels que le trioxyde d'antimoine et l'alumine hydratée sur la réaction au feu du stratifié. Les résultats sont comparés à ceux obtenus au test de l'indice d'oxygène.

## 2. ESSAI PAR RAYONNEMENT

Le degré d'inflammabilité d'un matériau de construction est déterminé conformément à l'Arrêté Ministériel français du 4 juin 1973, modifié par l'Arrêté Ministériel du 19 décembre 1975 et publié au Journal Officiel de la République Française du 20 février 1976.

Les stipulations relatives aux essais et aux classements des matériaux ont fait l'objet de normes françaises enregistrées NF P 92-501 à 507.

L'essai principal détermine la tendance d'un matériau à dégager des gaz dont la nature et la quantité sont susceptibles de produire une combustion en phase gazeuse, c'est-à-dire de produire des flammes.

Il consiste à soumettre les échantillons à un rayonnement d'une valeur constante de  $3 \text{ W/cm}^2$ , en présence de rampes à gaz qui enflamment les gaz de pyrolyse.

Les essais sont effectués dans une cabine spéciale, figure 1, sur des échantillons de  $300 \times 400 \text{ mm} \times$  l'épaisseur d'utilisation.

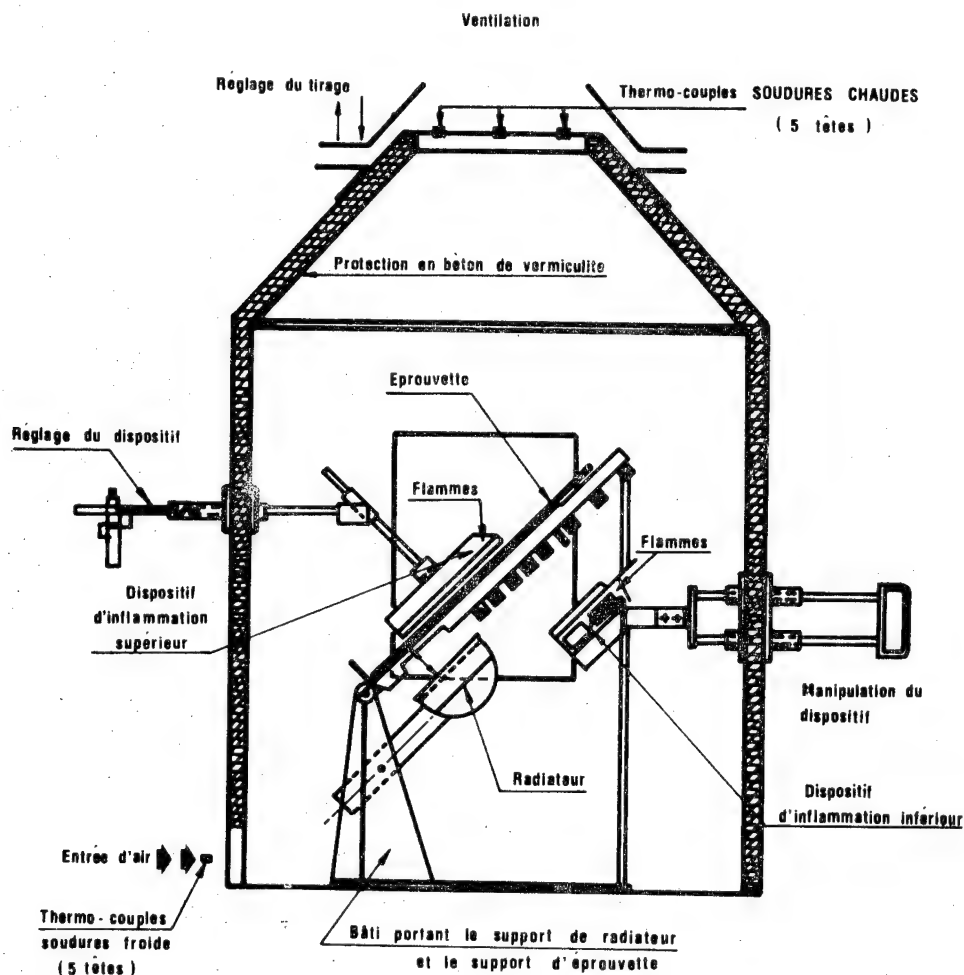


Figure 1- Cabine d'essai par rayonnement

Au cours des quatre essais réglementaires par type d'éprouvette, on note les points suivants :

- les temps d'inflammation,  $t_1$  et  $t_2$ , des faces inférieure et supérieure;
- les longueurs maximales,  $h$ , des flammes toutes les 30 secondes;
- la différence de température pendant toute la durée de l'essai (20 min), entre l'admission d'air et la sortie des gaz de combustion.

Ces observations permettent de calculer quatre indices (tableau 1) : l'indice d'inflammation ( $i$ ), de développement des flammes ( $s$ ), de longueur maximale de flamme ( $h$ ) et de combustibilité ( $c$ ), en rapport avec la charge calorifique du matériau.

Suivant les valeurs de ces quatre indices, le matériau essayé peut être classé dans les catégories M.1 à M.4 (M.1 = non inflammable, M.2 = difficilement inflammable, M.3 = moyennement inflammable et M.4 = facilement inflammable).

**TABLEAU 1 : Valeurs limites des indices de base pour le classement**

Indices	Catégorie					
	M.1	M.2		M.3		M.4
s : $\Sigma h/140$	0	< 0,20	0,20 à 1	0,20 à 1	1 à 5	> 5
i : $66,7 \left( \frac{t_1 + t_2}{t_1 \cdot t_2} \right)$	0	quelconque	< 1	quelconque	< 2	autre
h : $h_{\max}/20$	0	< 1	< 1	< 1,5	< 2,5	autre
c : $S'/120$	< 1	< 1	< 1	< 1	< 2,5	autre

$S'$  = l'aire algébrique, exprimée en °C/min, entre la courbe de variation de température relevée pendant l'essai et la température moyenne en régime permanent

En fait, selon cet Arrêté, les matériaux sont répartis en 6 classes : M.0 à M.5. Lorsqu'un matériau satisfait aux stipulations de la classe M.1, il peut subir un surclassement et être classé en M.0 lorsque son pouvoir calorifique supérieur à volume constant est  $\leq 600$  kcal/kg. Le classement en M.5 d'un matériau correspond au classement M.4, avec une vitesse de propagation de la flamme supérieure à 120 mm/min, déterminée au moyen d'un essai complémentaire (NF P 92-504).

Dans le cas des stratifiés polyesters, le classement M.4, et a fortiori M.5, sont sans intérêt commercial, tandis que le classement M.0 est impossible à obtenir.

### 3. FACTEURS AGISSANT SUR LA VALEUR DES INDICES

#### 3.1. Teneur en verre

Trois séries de mesures ont été faites sur des stratifiés à 3 mm d'épaisseur, ne contenant que la résine telle quelle et respectivement 2, 3 et 4 mats à 450 g/m<sup>2</sup>. Nous donnons à la figure 2, en même temps que l'indice d'oxygène, les valeurs moyennes des critères i, s, h et c en fonction du pourcentage de verre.

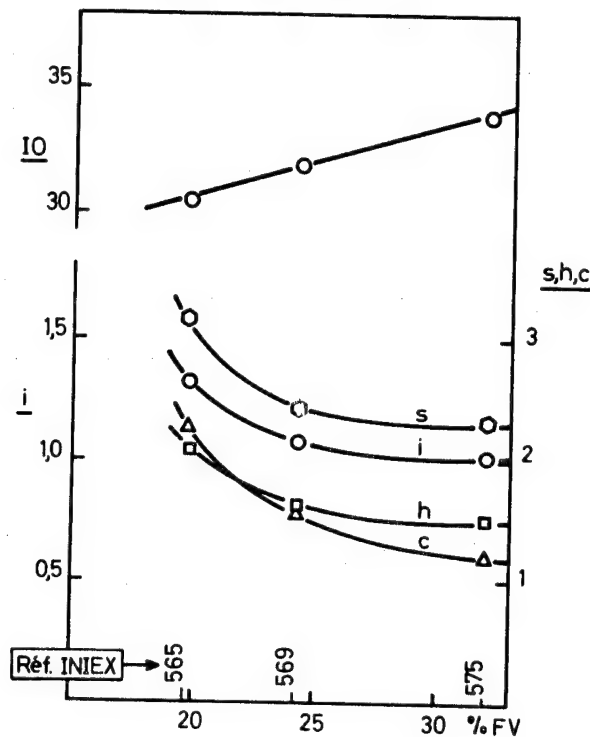


Figure 2 - Stratifiés polyesters à base de résine chlorée, variation de l'indice d'oxygène et des valeurs moyennes des critères i, s, h et c en fonction du pourcentage de verre

L'indice d'oxygène croît linéairement avec le taux de verre. On aurait pu croire a priori que la valeur de cet indice qui, en fait, est une mesure de la combustibilité ne soit pas ou peu influencée par la teneur en verre. Or l'indice d'oxygène d'un stratifié contenant quatre mats est de six points plus élevé que celui de la résine pure. Il faut en voir vraisemblablement la cause dans un accroissement de la conductibilité thermique des stratifiés.

La teneur en verre a une influence à la fois sur l'inflammation et la combustion.

Les courbes tracées en portant les critères de classement à l'épiradiateur en fonction de la teneur en verre décroissent asymptotiquement et on remarque que, dans le domaine habituel de travail de 24 à 35 %, l'effet de la teneur en verre sur les indices est faible.

Avec de tels stratifiés ne contenant que l'additif ignifugeant primaire, inclus dans la chaîne moléculaire du polyester, les indices  $s$  et  $h$  atteignent des valeurs élevées. On a toujours  $s > 2$  et  $h > 1,5$ , de sorte que les trois types de stratifiés conservent toujours le classement M.3, catégorie inférieure.

### 3.2. Epaisseur du stratifié

Paramètre tout à fait étranger à la constitution de la résine polyester, l'épaisseur du stratifié joue un rôle dans la phase initiale d'allumage, ainsi que dans la durée de combustion. L'épaisseur intervient donc dans les résultats donnés par l'essai à l'épiradiateur.

Résultant de la mesure du temps d'inflammation, l'indice d'inflammabilité  $i$  dépend de la vitesse à laquelle le stratifié polyester est porté à sa température de décomposition. Plus un stratifié est mince, plus la vitesse d'échauffement est élevée et plus l'indice  $i$  est grand. A titre d'exemple, un stratifié transparent à 3 mm avec  $i = 1,5$  donne un  $i > 3$  à 1 mm.

L'action de l'épaisseur sur l'indice  $h$ , qui est un élément du même phénomène, semble moins évidente; néanmoins, nous avons pu constater dans l'exemple choisi que sa valeur reste constante.

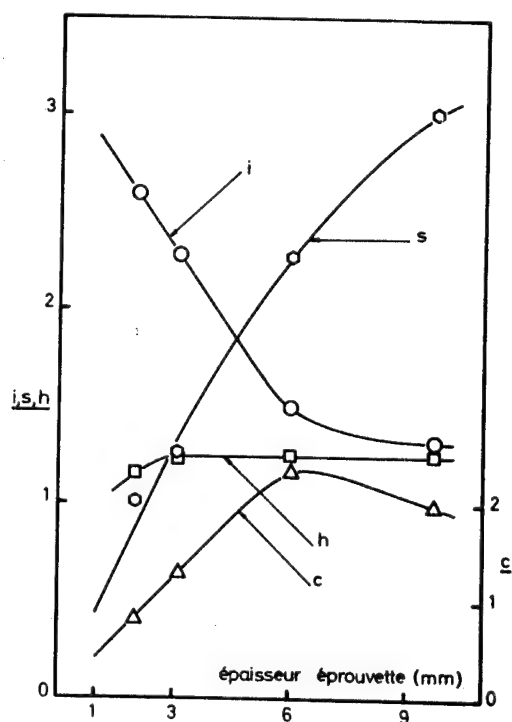


Figure 3 - Variations des valeurs des indices  $i$ ,  $s$ ,  $h$  et  $c$ , en fonction de l'épaisseur de l'éprouvette d'essai

Une série de quatre mesures sur des éprouvettes sans FV, d'épaisseurs comprises entre 2 et 10 mm, confirme bien ces observations. On peut voir à la figure 3 qu'en dessous de 6 mm, l'indice d'inflammation  $i$  présente un accroissement très rapide et qu'inversément, l'indice  $s$  décroît d'une manière très prononcée. Ceci explique que pour certaines compositions, en réduisant l'épaisseur, le classement pourra passer de M.3 à M.2; conséquence des deux façons d'obtenir le classement M.2.

Pour la composition expérimentale utilisée, l'indice  $h$  garde une valeur constante et l'indice  $c$  présente un maximum apparent.

Il faut toutefois signaler qu'au cours des essais, les plaques se sont percées plus ou moins rapidement selon l'épaisseur et les valeurs des indices  $h$  correspondent en fait à des hauteurs de flammes mesurées verticalement à partir de la face supérieure.

### 3.3. Concentration en styrène

La dilution d'une résine par du styrène est parfois nécessaire pour adapter la viscosité au procédé de fabrication. Armées de fibres de verre et fortement chargées de poudres minérales, les résines polyesters peuvent devenir malaisées à travailler et le transformateur peut être amené à ajouter au mélange une certaine quantité de styrène. Même polymérisé, le styrène est un produit très combustible et il peut avoir une action particulièrement importante sur la réaction au feu.

A partir de la résine choisie dont la teneur en styrène est de 26 % en poids, on a augmenté la concentration en styrène de 5 % et fabriqué deux séries de stratifiés avec 3 mats de verre à 450 g/m<sup>2</sup>, et respectivement 7 et 9 pcr de trioxyde d'antimoine.

La réaction au feu des stratifiés correspondants, après un recuit habituel de 24 h à 60°C, a alors été mesurée et les résultats reportés à la figure 4. On peut voir que l'addition de styrène a comme conséquence de provoquer une diminution de l'indice d'oxygène, c'est-à-dire d'accroître la combustibilité des stratifiés polyesters.

Sauf l'indice  $c$ , les valeurs des indices  $i$ ,  $s$  et  $h$  augmentent régulièrement avec la dilution et les deux types de stratifiés sont ainsi déclassés de M.2 à M.3.

Le styrène a donc une action néfaste sur les critères de classement et plus son taux est élevé plus les stratifiés s'enflamment aisément et brûlent longtemps.

### 3.4. Teneur en oxyde d'antimoine

Pour faire des stratifiés polyesters-fibres de verre ayant un degré de réaction au feu souhaité, le chlore de la résine ne suffit pas et il faut encore y adjoindre un élément synergique : l'antimoine.

En conséquence, pour une résine chlorée, le pourcentage d'oxyde d'antimoine doit être réglé avec une précision suffisante si l'on veut obtenir avec certitude le classement M.2.



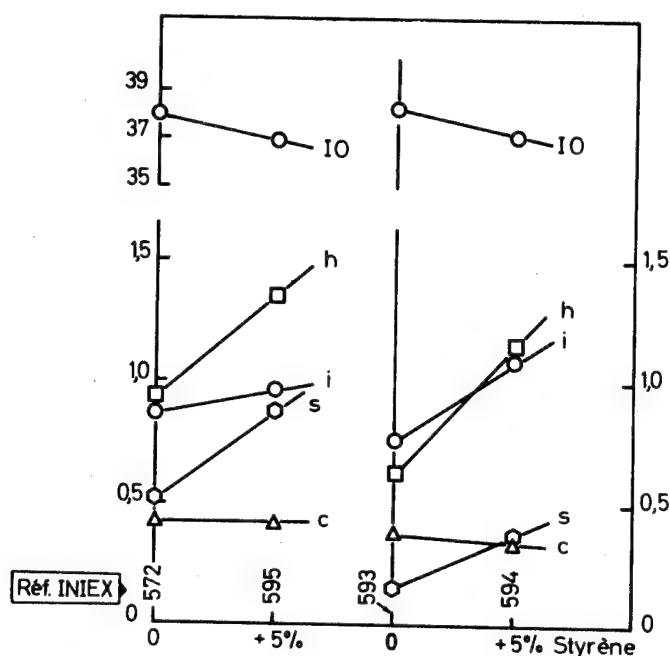


Figure 4 - Stratifiés polyesters à base de résine chlorée avec 3 mats de verre à 450 g/m<sup>2</sup> et respectivement 7 et 9 pcr de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Variations de l'indice d'oxygène et des valeurs moyennes des critères i, s, h et c en fonction de la dilution de la résine par du styrène

Cinq séries de mesures ont été faites sur des stratifiés contenant 3 mats de verre à 450 g/m<sup>2</sup>, accompagnés de 1, 3, 5, 7 et 9 pcr de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, respectivement. Les résultats sont représentés à la figure 5.

Dans la partie supérieure du diagramme, on a porté en ordonnée l'indice d'oxygène. On voit que, sauf pour de faibles taux en Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> où l'on observe même une légère décroissance de l'indice d'oxygène, la synergie Sb-Cl se manifeste par un fort accroissement de celui-ci pour les rapports Sb/Cl = 1/5 (composition 571) et 1/4 (composition 572).

Au-delà de 6 % de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, pour un rapport Sb/Cl = 1/3 (composition 593), il semble que le phénomène de synergisme tende vers un optimum.

La partie inférieure de la figure 3 met en évidence la réponse des critères de classement à la charge d'oxyde d'antimoine. On voit que l'indice i d'inflammation et l'indice h de longueur maximale de flamme décroissent linéairement en fonction de la teneur en Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tandis que les courbes représentant la réponse des indices de développement s et de combustibilité c présentent une concavité tournée vers l'origine. En particulier, il est remarquable que la décroissance brusque de ces indices soit située dans la zone où l'indice d'oxygène conserve pratiquement une valeur constante. Pour une charge de 2 % de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, la valeur des indices s et c diminue d'une unité.

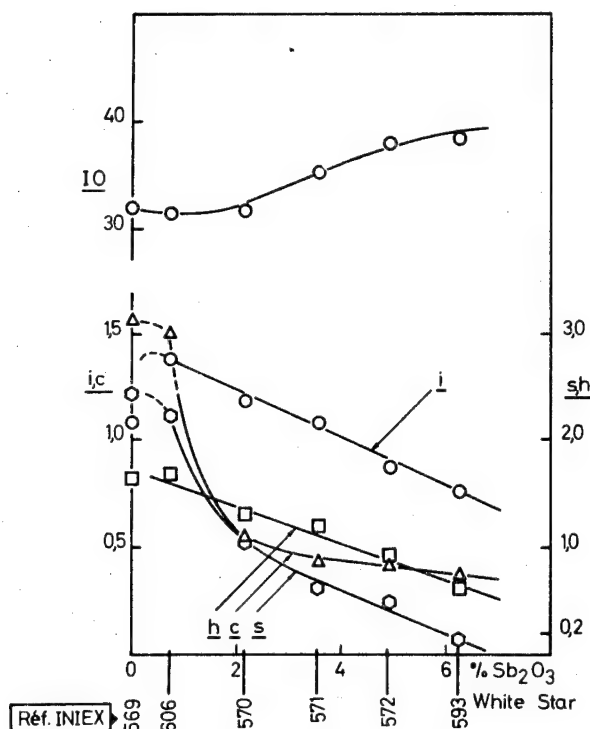


Figure 5 - Stratifiés polyesters à base de résine chlorée avec 3 mats de verre à 450 g/m<sup>2</sup>. Variations de l'indice d'oxygène et des valeurs moyennes des critères i, s, h et c en fonction du pourcentage en trioxyde d'antimoine

Ces indices varient ensuite pratiquement linéairement. Si l'on regarde le début des tracés, on constate qu'il y a un hiatus au niveau des compositions numérotées 569 et 606 et une influence complexe à la fois sur l'inflammation et la combustion. On observe en particulier un accroissement net de l'indice d'inflammabilité des stratifiés lorsque la charge en Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> est inférieure à 2 %. L'interprétation proposée pour expliquer cette réponse négative repose sur la nature du mécanisme de pyrolyse.

L'adjonction de trioxyde d'antimoine à la résine halogénée se traduirait par des températures caractéristiques de décomposition plus basses et, par conséquent, par un indice d'inflammabilité supérieur.

Les stratifiés dont les compositions sont numérotées 606 et 570, avec  $s > 1$ , sont M.3, catégorie inférieure. Pour la composition numérotée 571, on a  $s < 1$  et l'on obtient le classement M.3, catégorie supérieure.

On voit que la seule façon d'arriver au niveau M.2 avec la résine choisie est celle qui consiste à utiliser une charge d'au moins 5 % de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Avec la dernière composition de la série numérotée 593 à 6,25 % de Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, on atteint le classement M.2, catégorie supérieure, niveau de réaction au feu des plus satisfaisant.

### 3.5. Action de l'alumine hydratée

Classée dans les ignifugeants auxiliaires, l'alumine hydratée (ATH) est un produit intéressant dans l'ignifugation des stratifiés polyester. Cette charge, parfaitement sèche d'aspect (hum. max. 0,5 %), contient environ 34 % d'eau de cristallisation qui est libérée sous l'action de la chaleur à partir de 550°K, avec un maximum à 619°K (5), c'est-à-dire juste dans la zone des températures de décomposition thermique des résines polyester. Par exemple, pour la résine chlorée utilisée, on a TD 10 % = 530°K et TD 50 % = 600°K.

Agissant par décomposition endothermique ( $-71 \text{ kcal/mole Al}_2\text{O}_3$ ), l'ATH a donc un effet retardateur sur l'échauffement du stratifié. Au surplus, la grande quantité de vapeur d'eau contenue dans les gaz de pyrolyse les dilue fortement et réduit leur combustibilité.

Pour évaluer l'intérêt de l'utilisation de l'ATH, on a pris comme mélange de référence un stratifié classé M.3, catégorie inférieure, et on a préparé trois séries de stratifiés ignifugés contenant 3 pcr de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  et respectivement 10, 30 et 50 pcr de Martinal B-M2.

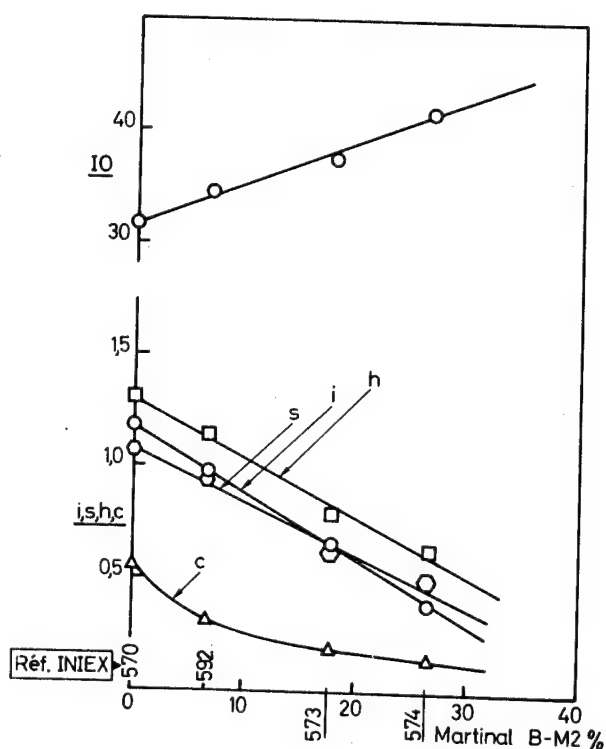


Figure 6 - Stratifiés polyester à base de résine chlorée avec 3 mats de verre à  $450 \text{ g/m}^2$  et 3 pcr de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ . Variations de l'indice d'oxygène et des valeurs moyennes des critères i, s, h et c en fonction du pourcentage de Martinal B-M2

La figure 6 met en évidence les réponses fournies par l'indice d'oxygène et les critères de classement à l'épiradiateur en fonction de la teneur en Martinal B-M2.

On peut juger de l'effet très positif sur l'indice d'oxygène dont la valeur augmente de dix unités pour une charge de 50 pcr d'ATH. Quant aux indices i, s et h, l'addition de Martinal B-M2 est bénéfique et son effet est très marqué puisque, pour la composition numérotée 573 avec 30 pcr, on atteint nettement le classement M.2, catégorie inférieure.

Par son action propre, le Martinal permet de diminuer le taux d'oxyde d'antimoine nécessaire pour atteindre le classement exigé.

La comparaison des résultats présentés aux figures 5 et 6 met en évidence le fait que l'on peut obtenir une diminution équivalente des indices d'inflammabilité i, en remplaçant dans une formulation ~ 3 pcr de  $Sb_2O_3$  par 20 pcr d'ATH. Il faut toutefois noter que cette comparaison paraît moins avantageuse au point de vue des indices de développement des flammes s, pour lesquels on observe une décroissance beaucoup plus rapide lorsqu'il y a synergie Sb-Cl.

### 3.6. Autres facteurs

En dehors des polyesters spéciaux à base d'acide HET ou de diols-chlorés, les producteurs ont développé des résines spécifiques constituées par le mélange d'un polyester standard et d'une paraffine chlorée. Malheureusement, ces polyesters moins coûteux brûlent beaucoup plus facilement ( $IO < 21$ ) et, pour obtenir le classement M.2, l'utilisation d'un additif organique complémentaire à base de brome et une incorporation de charges deviennent nécessaires.

Un autre point important des spécifications techniques exigées pour les stratifiés polyesters est celui du revêtement de surface. La face visible après montage des pièces doit être lisse et revêtue d'un "gel-coat" pigmenté de polyester, d'épaisseur comprise entre 0,3 et 1 mm. En plus, lorsqu'elles sont exposées aux intempéries, les faces non visibles doivent elles-mêmes être revêtues d'un "top-coat". Les gel-coats commerciaux sont soit du type standard, soit dits autoextinguibles, soit encore du type intumescent.

Ces stratifiés polyesters doivent être considérés comme des matériaux composites et il est alors difficile de prévoir sans essais préalables si le gel-coat intervient dans un sens favorable ou défavorable sur la réaction au feu.

## 4. BIBLIOGRAPHIE

- (1) M.G. BENIER - "La réaction au feu de stratifiés en verre-polyesters utilisés dans le bâtiment" - V.T.R.P., n° 3, mars 1975.
- (2) M. FERRY - "Polyesters insaturés résistant au feu" - G.P.C.P., Les Plastiques et le Feu, Journées d'Etudes, novembre 1976.
- (3) W. KLÖKER et F. PRAGER - "Comportement au feu de produits à base de polyesters insaturés" - V.T.R.P., n° 6, juillet-août 1978.

- (4) K. PARVIN - "Fire performance of glass reinforced polyesters" - Fire and Materials, vol. 3, n° 4, 1979.
- (5) C.V. LUNDBERG - "Hydrated alumina as a fire-retardant filler in styrene - polyester casting compounds" - Advances in Chemistry Series 134, A.C.S., 1974.

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE NONLINEAR BEHAVIOUR OF COMPOSITE PANELS

Dr W.M. BANKS

Department of Mechanics of Materials

University of Strathclyde, Glasgow, United Kingdom

### SUMMARY

The paper details an experimental investigation carried out to validate a theoretical analysis of the postbuckling and large deflection behaviour of orthotropic plates. Details of test specimen preparation, of the testing equipment used, and the boundary conditions employed, are given. The results are compared with theory.

# EXPERIMENTAL STUDY OF THE NONLINEAR BEHAVIOUR OF 'COMPOSITE PANELS

by

Dr W M Banks

Department of Mechanics of Materials  
University of Strathclyde, Glasgow, U.K.

The nonlinear behaviour of composite panels fabricated using unidirectional reinforcements and subjected to uniaxial in-plane loading has been considered by the author at the two previous ICCM Conferences (1) and (2) from a theoretical viewpoint. The analysis involved the solution of the von Karman type large deflection equation for orthotropic plates in addition to the consideration of the energy in the buckled plate system. Various boundary conditions on the unloaded edges were considered together with simply supported loaded ends.

A parallel experimental investigation has been carried out to validate the theoretical findings. This involved the fabrication and testing of orthotropic plates in the form of glass reinforced plastic using unidirectional reinforcement.

The test set-up gave simply supported flexural boundary conditions on all edges and permitted the testing of plates with various aspect ratios. Large deflection results and post critical stress distributions were obtained for plates with constant in-plane displacement on the loaded ends and stress free unloaded edges.

The paper gives details of how the test specimens were prepared and of the plate testing equipment used. The experimental results for large deflections and postcritical stress distributions are compared with theory.

### NOTATION

a, b	panel dimensions in x and y directions respectively
$D_{11}, D_{22}$	flexural rigidity of plate per unit width for bending about the y and x axes respectively, given by $D_{11} = E_{11}h^3/12(1 - \nu_{12}\nu_{21}), \quad D_{22} = E_{22}h^3/12(1 - \nu_{12}\nu_{21})$
$E_{11}, E_{22}$	modulus of elasticity in the x and y directions respectively
$G_{12}$	elastic shear modulus in x-y plane
h	plate thickness
P, $P_{cr}$	applied load and critical load respectively in x direction
u, $u_{cr}$	in-plane displacement and critical value of in-plane displacement of the plate middle surface in the x direction
w	out-of-plane deflections
$w_0$	initial out-of-plane deflection without load
$\nu_{12}, \nu_{21}$	Poisson's ratio in the x and y directions respectively
$\sigma_{cr}$	critical buckling stress
$\sigma_x^b, \sigma_y^b$	bending stresses in the x and y directions respectively
$\sigma_x^m, \sigma_y^m$	direct membrane stresses in the x and y directions respectively

### INTRODUCTION

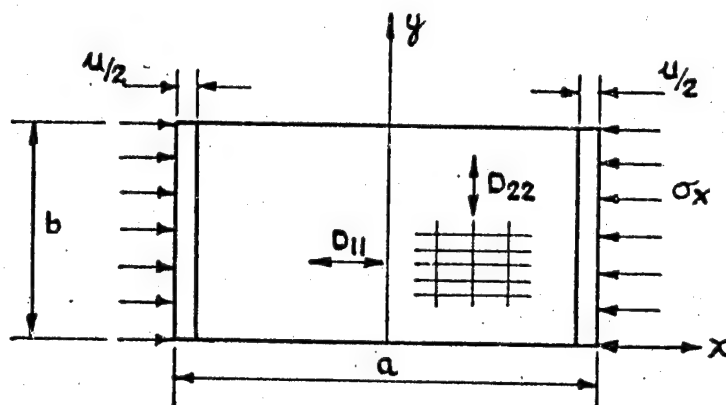
Several idealised forms of orthotropic plates have been used in the past. With modern composite fibre-reinforced systems, it is possible to fabricate the material and final plate structure in one operation with some control on the final properties of the plate. In particular, where the reinforcement is based on unidirectionally aligned fibres, the resulting structure is orthotropic and homogeneous, and such plates form an excellent basis for testing the validity of orthotropic plate theory. Because of the nature of the test specimens their fabrication is first considered before the test equipment is described.

### PREPARATION OF TEST SPECIMENS

The composite orthotropic plates shown schematically in Fig.1 were fabricated using unidirectional glass fibre laminate and a polyester resin matrix in a hand lay-up process. The glass fibre was 'E-type Tyglas' and the polyester resin was 'Crystic 272' supplied by Scott Bader Co Ltd. The properties of the constituent materials provided by the manufacturers are given in Table 1. The 'Crystic 272' resin was chosen because it is a high performance isophthalic resin with relatively high mechanical strength, widely used for applications in structural engineering. The chemical reaction which produced hardening of the resin was initiated by the addition of an appropriate catalyst and accelerator.

The plates were fabricated using a hand lay up vacuum process which was originally devised at the Royal Aircraft Establishment, Farnborough. A detailed





**FIG. 1. CO-ORDINATE AXES AND SIGN CONVENTION.**

description of this process is given in (3). Plates and test specimens of very consistent properties, and of very high quality were obtained.

**TABLE 1**  
Properties of the constituent materials of the composite

Material	Modulus of elasticity $\text{GNm}^{-2}$	Poisson's ratio	Specific gravity
E-glass <sup>a</sup>	72.4	0.22	2.56
Polyester resin <sup>a</sup> (Crystic 272)	3.66	0.3 - 0.36 <sup>b</sup>	1.21

<sup>a</sup> Values obtained from manufacturer

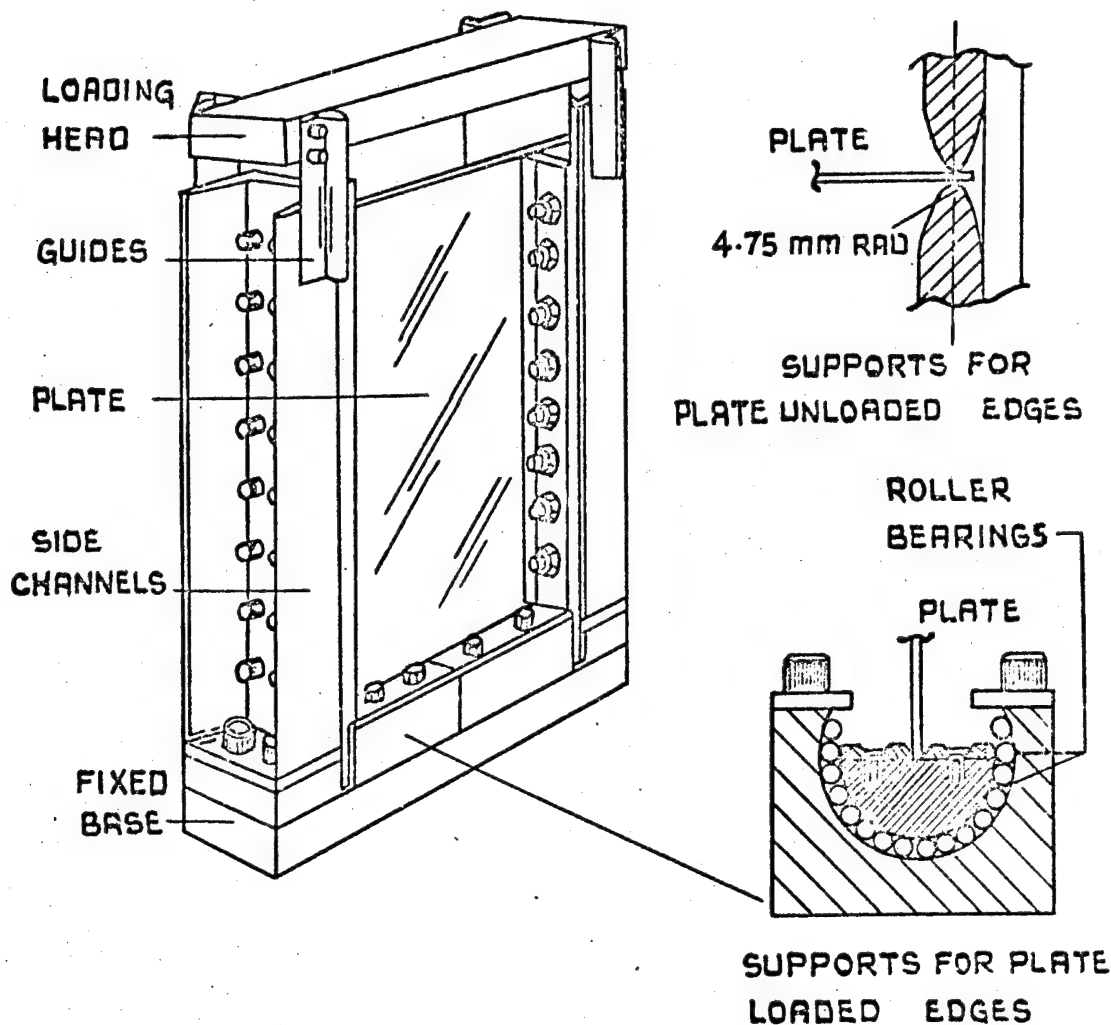
<sup>b</sup> Value when post-cured

#### THE PLATE-TESTING EQUIPMENT

The plates were tested in a rig which fitted into a Tinius Olsen compression-tension universal testing machine. To obtain the stress distribution in the post-buckled plate a series of strain gauge investigations were undertaken.

A general outline of the plate-testing rig is given in Fig.2. It was designed and built by Fok (4) and is similar in many respects to an earlier rig described by Hoff et al (5). Minor alterations were incorporated to enable the testing of various aspect ratios in the glass-reinforced plastic plates. The rig was designed to give a uniform displacement along the loaded edges, stress-free unloaded edges and simply supported flexural boundary conditions. It was designed to test plates 250 mm wide with various lengths, up to a maximum aspect ratio of 2.

The rig consisted essentially of a lower base, an easily removable upper platen and two identical side supports. The side supports were rigidly bolted to the lower base through a plate welded to the channel sections, and the upper platen was constrained to move vertically as the panel was compressed. The load was applied to the specimen through a series of needle bearings mounted in steel blocks, which were guided into the platens. This ensured the closest approximations to a simply supported loaded edge. The diameter of the bearings was 14.3 mm and that of the individual needles was 3.17 mm.



**FIG. 2. PLATE TESTING RIG.**

The upper platen had four 50 mm x 50 mm T-sections rigidly attached to it to ensure vertical movement when the load was applied. The inside edges were machined to align with the machined outer edges of the side supports with a tolerance of 0.05 mm. The side supports were made from 127 mm x 63.5 mm structural channel, with a web thickness of 6.35 mm. A plate was welded to the bottom of the channel and the assembly was machined to ensure that the lower surface was flat and perpendicular to the web of the channel. Slotted holes in the channels permitted the knife edges to be moved to accommodate variations in plate thickness. Dowels on the side channels ensured that the knife edges were held vertically.

The knife edges were machined from steel bar and rounded off at the edges to a radius of 4.75 mm. They provided line contact along the length of the plate. During tests they were adequately lubricated to prevent restraint on the panel and to permit it to rotate freely about the edges.

The tests were carried out in a Tinius Olsen tension-compression testing machine with a maximum capacity of around 0.9 MN and a minimum resolution of approximately 9 N. The loading was displacement-controlled and was measured through the base of the machine by load transducers.

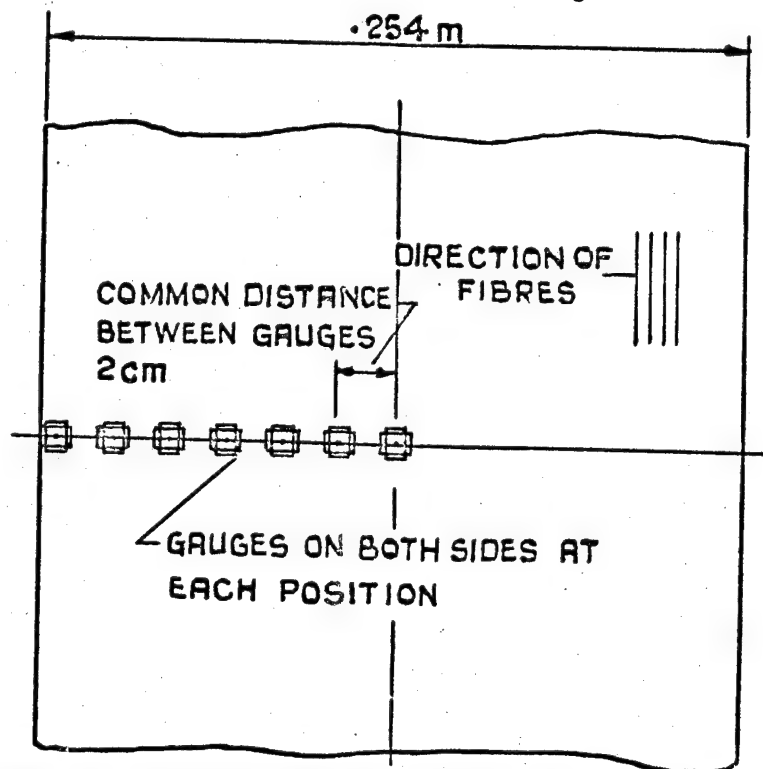
### TEST METHOD

To initiate a test, the panel was positioned in the testing rig by removing the top platen and sliding the plate in until the bottom of the plate rested on the slotted rods in the base. Since irregularity in thickness along the edges of the plate is inevitable with GRP laminates, the method proposed for positioning the knife edges by Hoff et al (5) was adopted, i.e. the knife edges were positioned against the panel to contact at the thickest points, and tentatively clamped. Having confirmed that the plate was not too rigid (in which case some of the load would have been lost in friction between the supports and the plate) the knife edges were fully tightened and the upper platen fixed in position.

Having positioned dial gauges as appropriate the plate was subjected to a small load of approximately 0.1 of the buckling load. This served to 'settle' the plate into the test rig and to take up any movement between the components of the rig. This load was then removed until only a very small load registered on the machine. The dial gauges and strain gauges were then zeroed and the loading increased in appropriate increments until collapse of the plate occurred. Since the testing machine was displacement-controlled, collapse was noted as a sudden reduction in load.

Using this approach a series of 18 preliminary tests were conducted to provide some initial experience. Several plates were then strain gauged to give detailed strain distributions and to permit comparison with theoretical predictions. The results from one plate only are presented for brevity.

In this case gauges were placed on both sides of one symmetrical half (see Fig.3). The aspect ratio of this plate was chosen to give the minimum buckling load



**FIG. 3. STRAIN GAUGE LAYOUT ON PLATE No2.  
WITH ASPECT RATIO OF 1.3575**

for the plate properties, which were ascertained before machining. The value of 1.3575 was derived from the formula (6).

$$\frac{a}{b} = \sqrt[4]{\frac{D_{11}}{D_{22}}}$$

With this value, it was ensured that the plate would buckle into one half-wave and so the gauges could be positioned centrally. Both the membrane and bending stresses could be ascertained and these were used as a basis for comparison with the theoretical predictions. In addition, the out-of-plane deflections were recorded.

### EXPERIMENTAL RESULTS

The results are presented and compared with the theoretical work referred to earlier. The large deflection behaviour is described first; this is followed by the stress distributions for increasing load and within the plate for various specified load ratios.

#### Large Deflection Behaviour

The large deflection behaviour is considered in relation to both in-plane and out-of-plane movement. The ability to predict deflections accurately is important since the redistribution of post-buckling stress and the change in axial stiffness are dependent on the derivatives of these deflections.

#### Load-end displacement behaviour

In this section, results from tests on 2 plates taken from a large series of tests are presented. To enable realistic displacement readings to be recorded,

Plate No.	$E_{11}$ GNm <sup>-2</sup>	$E_{22}$ GNm <sup>-2</sup>	$G_{12}$ GNm <sup>-2</sup>	$\nu_{12}$	a/b	h mm	$\sigma_{cr}$ (theoretical) MNm <sup>-2</sup>
1	29.80	6.30	2.06	0.33	1	2.489	3.905
2	27.38	8.06	2.71	0.33	1.3575 <sup>a</sup>	2.667	4.266
3	25.60	4.47	2.30	0.33	2 <sup>b</sup>	2.565	3.595
4	6.30	29.80	2.06	0.07	1	2.489	3.905
5	5.35	29.35	2.19	0.06	0.5	2.578	3.531

<sup>a</sup> Chosen to give minimum buckling load

<sup>b</sup> Buckled into two half-waves (all others into one half-wave)

TABLE 2  
Material properties of test plates

rectangular plates with an aspect ratio of 2 were tested initially. These plates were approximately 0.5 m long and had a critical strain of around  $130 \times 10^{-6}$ . This meant that the maximum deflection at the critical load was of the order 0.065 mm.

The results are presented in Figs.4 and 5; in each case the full lines are

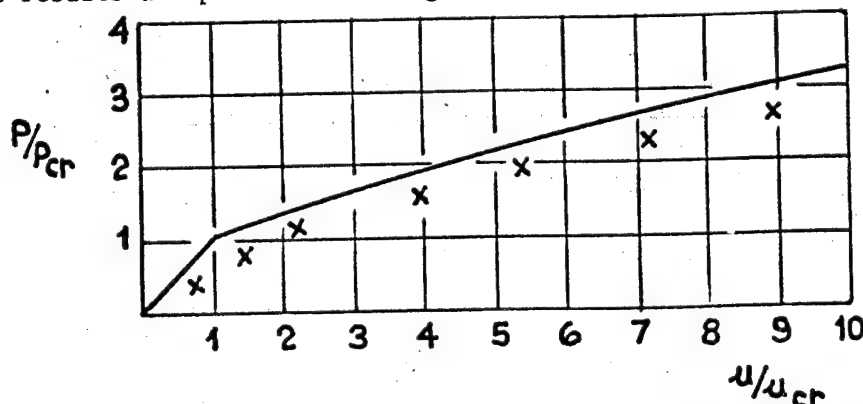
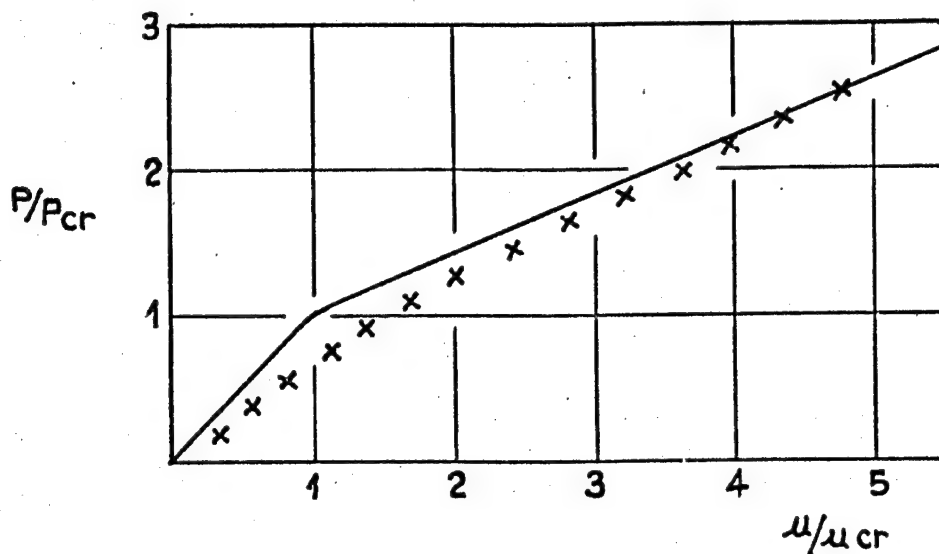


FIG. 4. LOAD-END DISPLACEMENT CURVES FOR  
PLATE No.3. BUCKLED IN 2 HALF WAVES.



**FIG 5. LOAD-END DISPLACEMENT CURVE FOR  
PLATE No.4.**

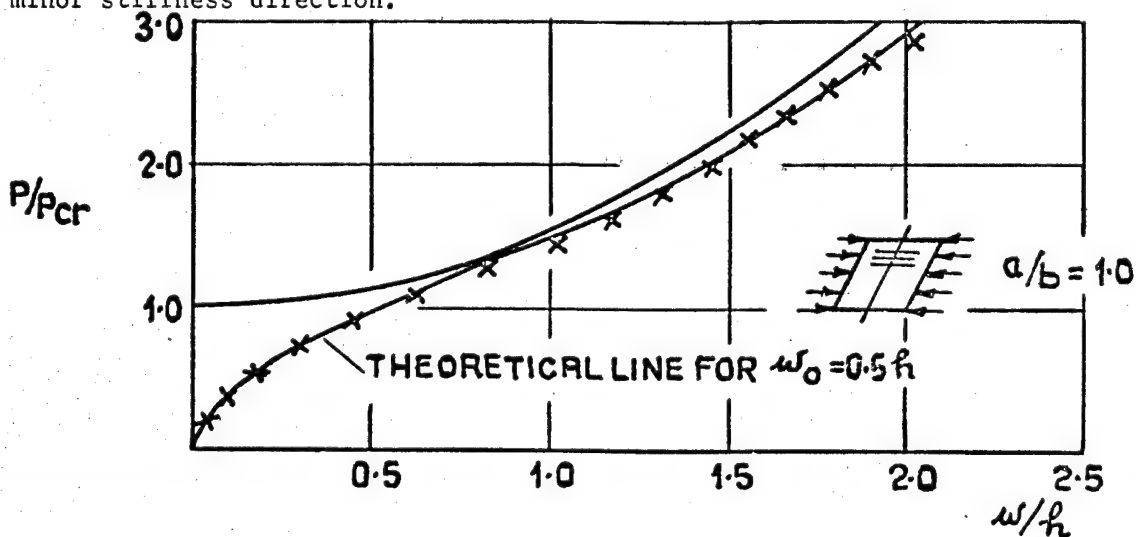
derived from theory. The plate properties are given in Table 2. As can be seen from the table, the plates were cut from four different fabrications. In all cases the plates buckled into one half-wave in the longitudinal direction except for plate No.3 which buckled into two half-waves.

In Fig.4 the result for the plate which buckled into two half-waves is presented. The post-buckling stiffness is low and it is seen that the experimental results again follow the trend closely. As well as loading in the major stiffness direction, tests were carried out with the load applied in the minor stiffness direction. The results of one of these tests (plate No.4) are given in Fig.5.

The results show that the post-buckling stiffness can be accurately predicted and, provided due care is taken with the experimental readings, fair correlation is obtained with the theory.

#### Load-out-of-plane deflection behaviour

The out-of-plane deflection results are presented in Figs. 6 and 7 for plates loaded in the major stiffness direction, and in Figs.8 and 9 for plates loaded in the minor stiffness direction.



**FIG.6. LOAD OUT OF PLANE DEFLECTION CURVES FOR PLATE 1**

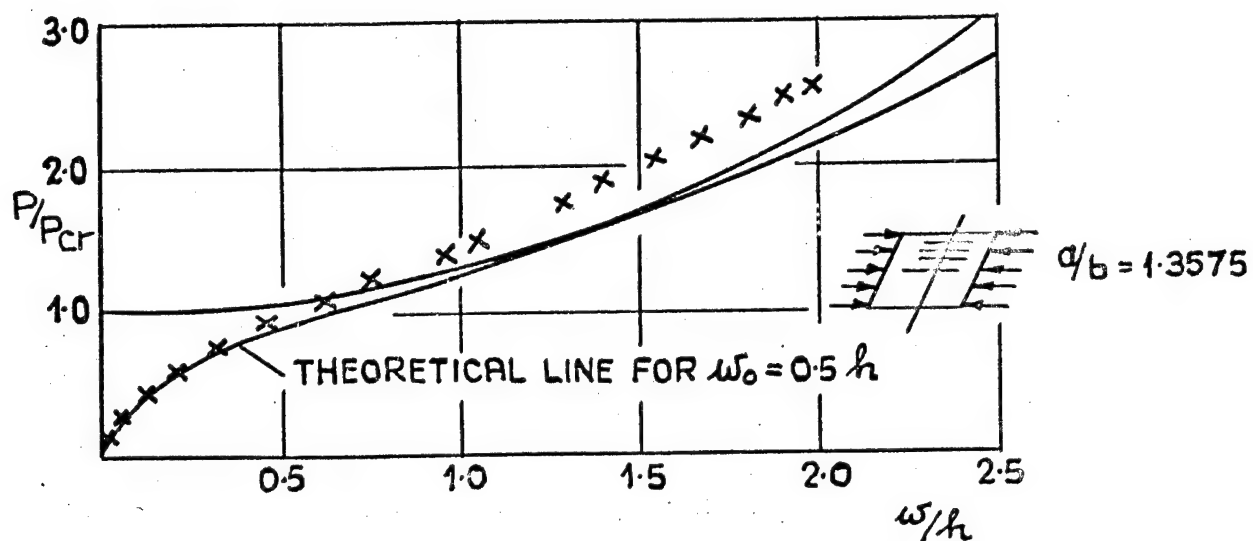


FIG. 7. LOAD OUT OF PLANE DEFLECTION CURVES FOR PLATE 2.

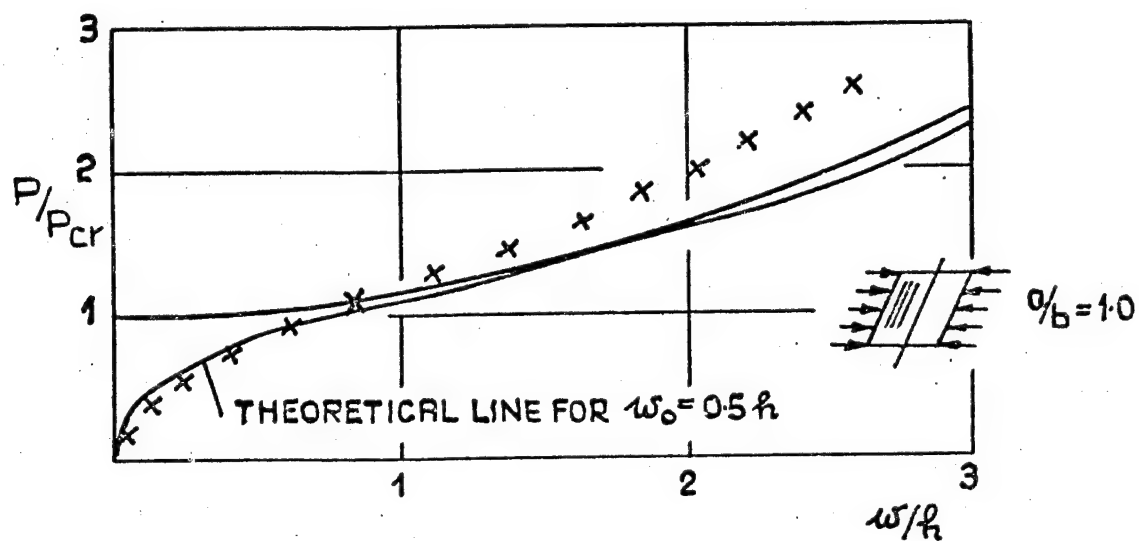
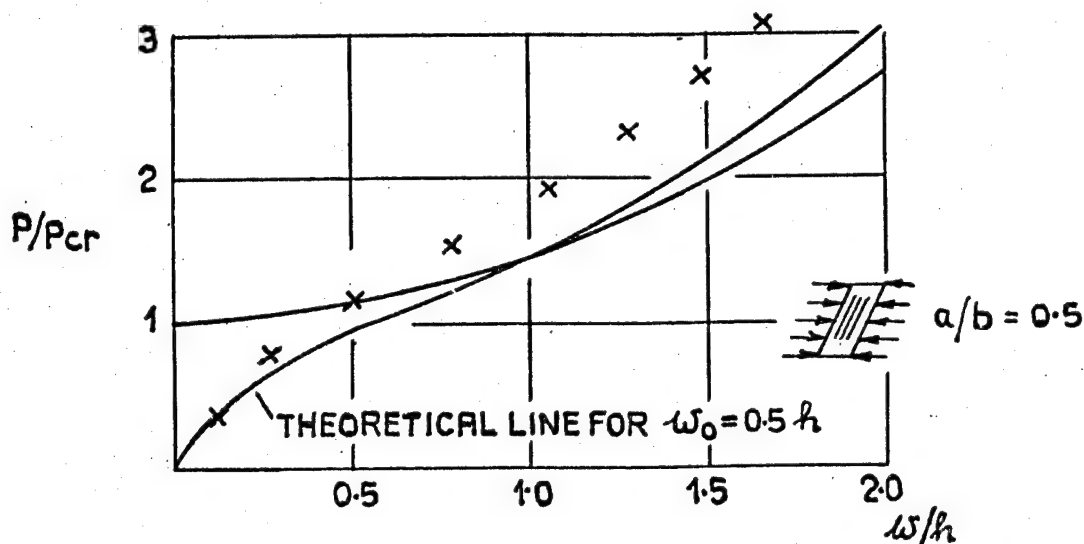


FIG. 8. LOAD OUT OF PLANE DEFLECTION CURVES FOR  
PLATE 4. LOADED IN MINOR STIFFNESS DIRECTION



**FIG. 9. LOAD OUT OF PLANE DEFLECTION CURVES FOR  
PLATE 5 LOADED IN MINOR STIFFNESS DIRECTION.**

For plates loaded in the major stiffness direction the deviation of the experimental results from those for a perfect plate increased as the aspect ratio was increased. This is due mainly to the difficulty in fabricating the plates and the resulting imperfections. This deviation from the perfectly flat plate behaviour will occur in practical applications. The author has extended the theoretical work referred to earlier to take account of initial imperfections (see e.g. ref (2)). To obtain a comparison with this imperfect plate theory a value for the initial deviation from flatness was chosen so that the early part of the theoretical curve matched the experimental results. The 'imperfect' curves are included in the figures. It can be seen that, provided the initial imperfection is known, the experimental points conform more closely with the 'imperfect' curves. The initial imperfection value required to provide a correlation is approximately 0.5 of the plate thickness for the lower aspect ratios. This is quite a large initial deviation from flatness.

For the plates loaded in the minor stiffness direction, the deflections, as expected, are seen to be much larger (Figs.8 and 9). As before the 'imperfect' results are also presented; at the higher load ratios the deviations from the theoretical results are considerable.

#### STRESS DISTRIBUTIONS

The strain gauge lay-out and other details of the plate used for the stress distribution studies is given in Fig.3. Stress variations are presented for increasing load for particular areas of important stress values. In addition, the distribution of stress across the plate is presented for selected load ratios in the post buckled regime.

The results are presented in Figs.10 to 16. The effects of increasing the load on the stress levels are shown in Figs.10 to 12. The variations of longitudinal membrane and bending stresses are shown in Fig.10. The membrane stress values follow the theoretical predictions very closely while the imperfect-plate solution for the bending stress is again in moderately good agreement with the experimental results, particularly at the lower load ratios. The transverse membrane and bending stresses given in Fig.11 also agree reasonably well with the theoretical predictions.

It was not possible to compare the theoretical and experimental membrane stresses at the unloaded edge because of the difficulty of strain gauging close to

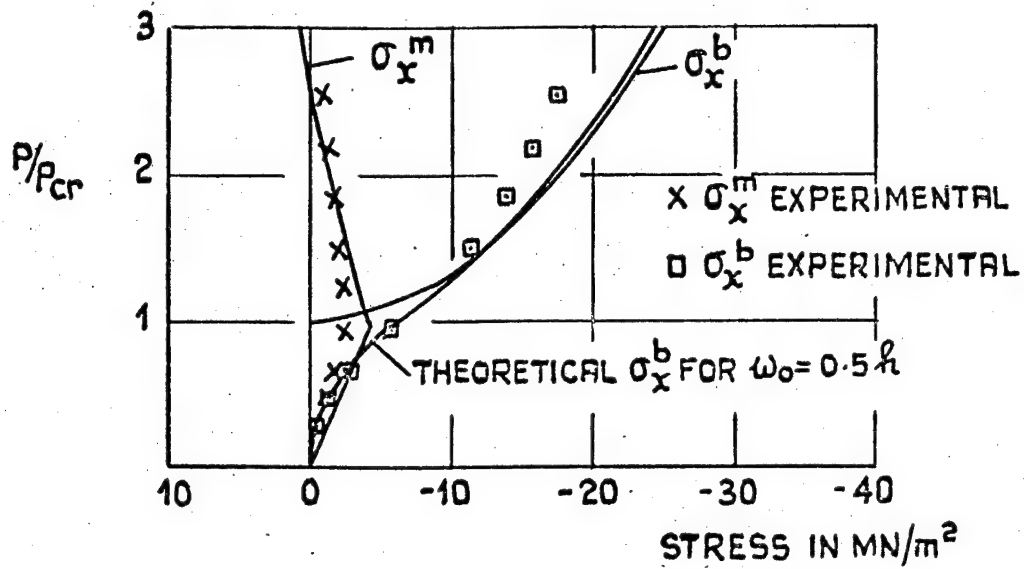


FIG. 10. DISTRIBUTIONS OF LONGITUDINAL  
MEMBRANE AND BENDING STRESSES  
AT CENTRE OF PLATE 2.

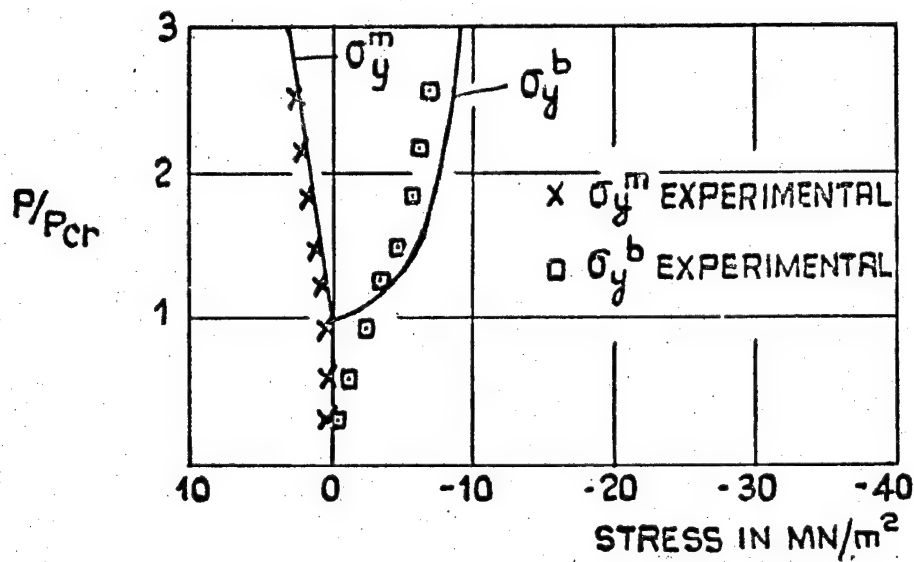


FIG. 11 DISTRIBUTIONS OF TRANSVERSE MEMBRANE  
AND BENDING STRESSES AT CENTRE OF PLATE 2



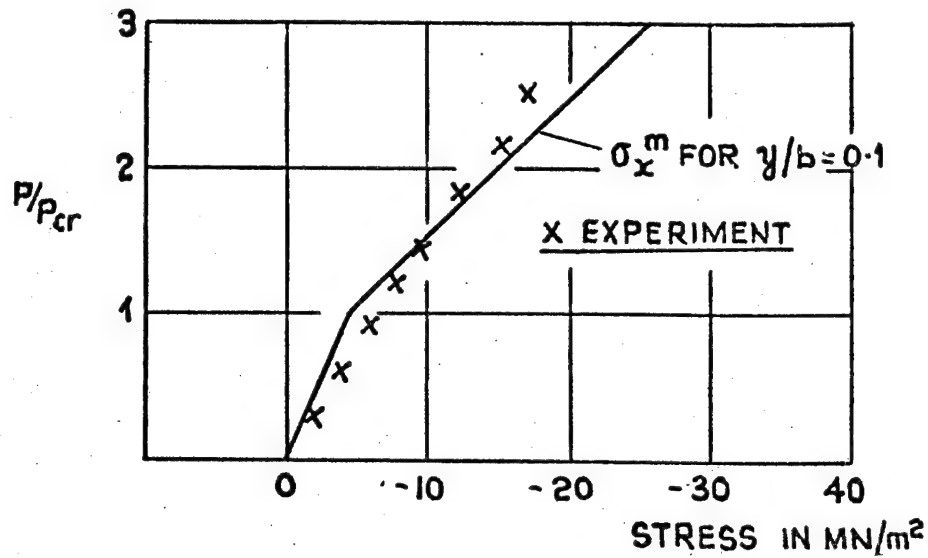


FIG. 12. DISTRIBUTION OF MEMBRANE STRESS  
NEAR UNLOADED EDGE OF PLATE 2.

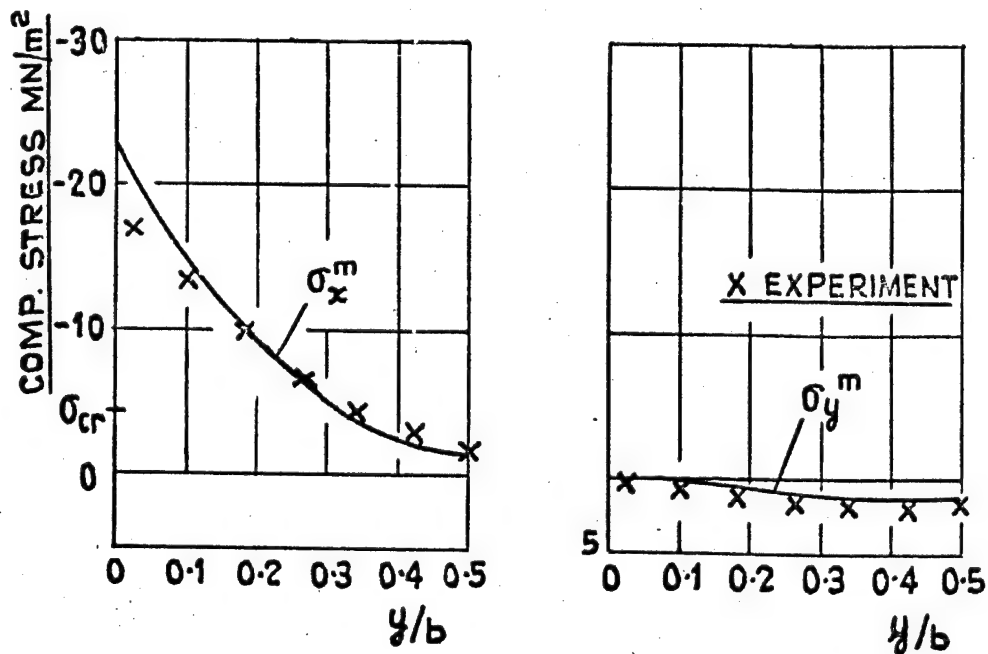


FIG. 13. MEMBRANE STRESS DISTRIBUTIONS AT BUCKLE  
CREST IN PLATE 2 FOR  $P/P_{cr} = 2.0$ .

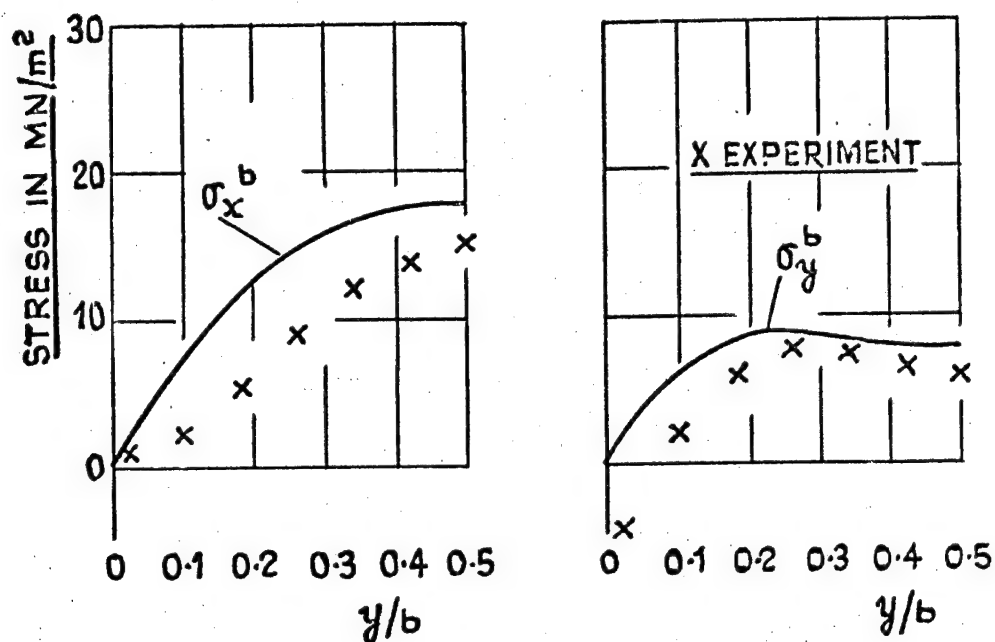


FIG. 14. BENDING STRESS DISTRIBUTIONS IN PLATE 2  
FOR  $P/P_{cr} = 2.0$ .

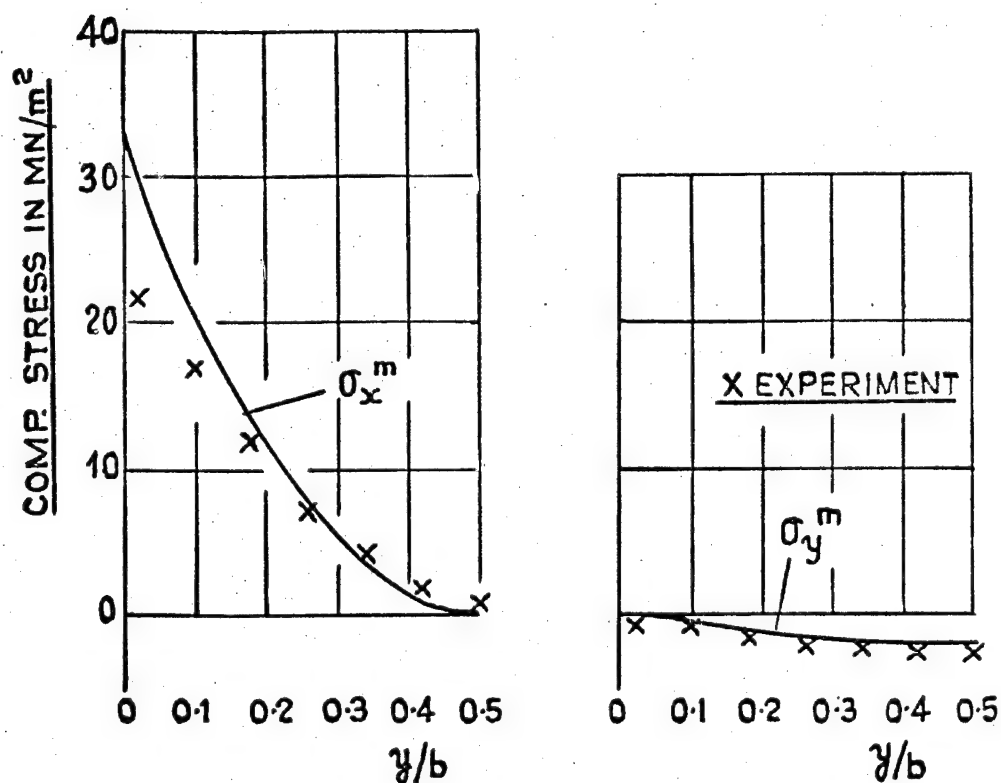
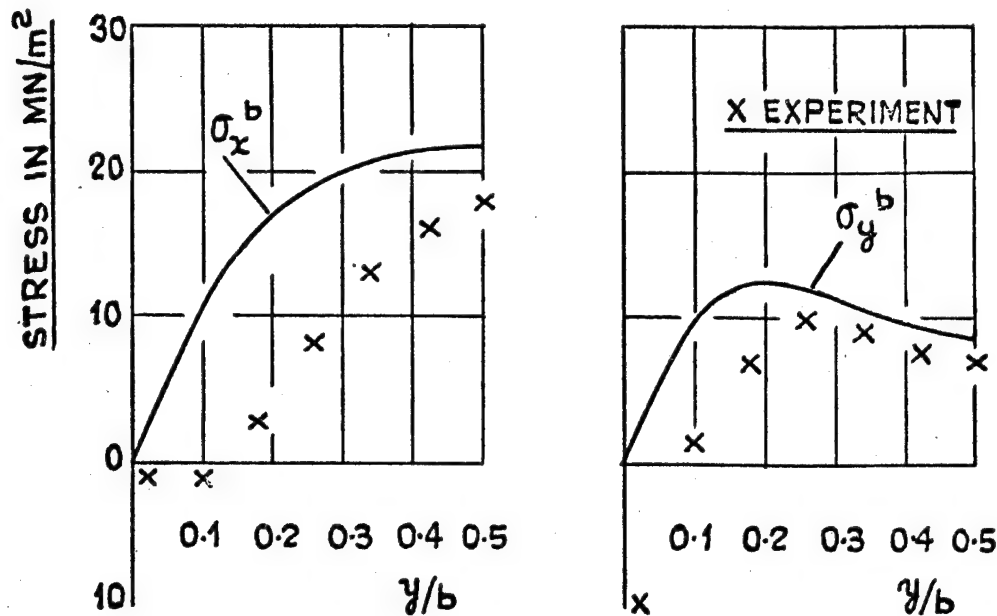


FIG. 15. MEMBRANE STRESS DISTRIBUTIONS AT BUCKLE  
CREST IN PLATE 2 FOR  $P/P_{cr} = 2.53$ .

$$\underline{P/P_{cr} = 2.53}$$



**FIG. 16. BENDING STRESS DISTRIBUTIONS IN  
PLATE FOR  $P/P_{cr} = 2.53$ .**

the support. Instead a comparison is made in Fig.12 of the membrane stress values for a distance in from the edge equal to 10% of the plate width. The correlation is seen to be very good, particularly up to a post-buckling load ratio of 2.0.

The membrane and bending stress distributions across the centre of the plate for  $P/P_{cr}$  of 2.0 are shown in Figs.13 and 14 respectively. The membrane stresses are in excellent agreement with those predicted except for the values very close to the edge. The transverse membrane stress  $\sigma_y^m$  was very much smaller than the longitudinal value, and of opposite sign. The bending stress distributions shown in Fig. 14 do not show the same good correlation, although the trends are predicted. The transverse bending stress  $\sigma_y^b$  is of particular interest. The maximum theoretical value is away from the centre towards the edge and this is clearly corroborated by the experimental results. A localised effect at the edge is evident in the change in sign of the bending stress. This would appear to be due to a change in curvature near the support which also affects the stress levels some small distance from it.

At the higher level of load ratio of 2.53, the same trends are apparent. The correlation for the membrane stress distributions shown in Fig.15 is much better than for the bending stress distributions shown in Fig.16. Moreover, the bending stress distributions do not correspond as well with the theoretical predictions as at the lower load ratio (Fig.14). The change in deflected form as the load ratio is increased affects the levels as well as the evident contribution near the supports. It is clearly more difficult to predict the bending stress distributions with accuracy than the membrane stress values, particularly near the edges as the load ratio is increased. The edges are the area of smallest bending moment and it is, therefore, not so important that these should be predicted accurately. At the areas of highest bending stress levels the correlation is reasonable.

Stress levels in the immediate post-buckling regime can thus be predicted with some confidence. Even at the higher levels the membrane distributions correlate well with the theoretical analysis, but care has to be taken in predicting the bending stress levels, particularly at the higher loads. Figures 14 and 16 show that the maximum predicted bending stresses are some 20% higher than the

corresponding experimental values and are thus conservative. Indeed, all the high stress values are overestimated. From the results presented it is seen that the theoretical predictions would include an additional factor of safety if used on a design basis.

### DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The experimental work reported here made possible an evaluation of the previous theoretical analyses. To the author's knowledge only a limited number of experimental results on homogeneous orthotropic plates subjected to in-plane loading have been published to date. Several results have been produced for idealised systems such as corrugated sheeting, etc. but these, while providing an overall picture, necessarily fall short at localised points of discontinuity in the structure. Composite material in the form of glass-reinforced plastic provides an excellent base for evaluating orthotropic plate theory.

It is difficult to fabricate composite plates by a hand lay-up process to very high quality. The vacuum process adopted and described, eliminated this problem to some extent. Curing, however, still gives difficulty and in spite of precautions, initial imperfections are always present. Similar fabrication and curing problems are encountered in practice.

The testing facilities reproduced the assumed boundary conditions although some restraint was evident from the experimental results at the unloaded edges. In general, realistic comparisons could be made. It was difficult to obtain some of the deflection readings accurately due to the small magnitudes involved. The end displacement behaviour had to be monitored carefully because of this problem. The out-of-plane deflections were larger and more accuracy was possible in this case.

The experimental results, in general, confirm the theoretical predictions, in many cases up to three times the buckling load, for the glass-reinforced plastic plates considered. The experimental large deflection behaviour also confirms the theoretical predictions to a reasonable degree. In particular the post-buckling stiffness is seen to agree favourably with that obtained from the readings. The agreement between the theoretical and experimental out-of-plane deflections was improved when initial imperfections were taken into account.

The stress distributions presented in Figs.10 - 16 show that in all cases the predictions overestimate the experimental stresses. The membrane stress distributions remain very accurate even up to a post-buckling load ratio of 2.5. The bending distributions are less so, giving a value of 20% less than that predicted at the higher levels for the most important positions on the plate. The predicted stress levels could thus be used with confidence in design.

Experimental confirmation of the theoretical analysis for stress-free unloaded edges gives confidence in the analysis for application to other boundary conditions. The geometric non-linear behaviour of composite systems is going to play an increasingly important role as these structures find wider applications with the increasing demands of modern technology. It is therefore necessary to be able to predict their behaviour with confidence.

### REFERENCES

- 1 BANKS W M 'The post-buckling behaviour of composite panels' Proceedings Int. Conf on Composite Materials, Geneva, 2, 1975, 272-93
- 2 BANKS W M, HARVEY J M and RHODES J 'The non-linear behaviour of composite panels with alternative membrane boundary conditions on the unloaded edges' Proceedings 2nd Int Conf on Composite Materials, Toronto, 1978, 316 - 336
- 3 BANKS W M and HARVEY J M 'Experimental study of stability problems in composite materials' Contribution to Stability Problems in Engineering Structures and Components (1979) Ed. Richards T H and Stanley P. Applied Science Publishers Ltd.

- 4 FOK W C Post-buckling behaviour of plates with discontinuous change of thickness PhD Thesis, University of Strathclyde, 1975
- 5 HOFF N J, BRUNO A B and COAN J M 'The development of a technique for testing stiff panels in edgewise compression' Proc Soc Exp Stress Analysis, 5, 1948, 14-24
- 6 LEKHNITSKII S G Anisotropic Plates, Gordon and Breach, 1965

AMELIORATION DES PROPRIETES MECANIKES A LONG TERME EN VUE DE  
L'ELIMINATION DU PERLAGE DANS LES TUYAUTERIES EN PLASTIQUE  
RENFORCE DE FIBRES DE VERRE POUR LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION  
D'EAU CHAUDE SOUS PRESSION - CHAUFFAGE URBAIN

TRIALS TO ELIMINATE THE WEEPING IN GRP PIPING FOR PRESSURE HOT  
WATER TRANSPORT AND DISTRIBUTION (URBAN HEATING)

Mr. C. RENAUD

Applications Development

Anti-Corrosion Section Manager

Owens-Corning Fiberglas Europe, Battice, Belgium

RESUME

L'expérience montre que le perlage dans les tuyauteries de transport d'eau chaude, est dû à la diffusion de l'eau dans la paroi en plastique renforcé de verre, diffusion qui accélère le vieillissement du matériau et l'apparition de micro-fissures. Des essais de perméabilité et de vieillissement à l'eau chaude (entre 100 et 140°C) ont été réalisés en vue d'étudier l'amélioration apportée par différents types de chemises internes d'étanchéité.

SUMMARY

Experience has shown that, in its early stage, weeping in hot water transportation pipelines is caused by water diffusion in the GRP wall, which accelerates material ageing and formation of microcracks. Permeability and ageing trials in contact with hot water (100 to 140°C) have been conducted to assess the improvement that various types of internal liner bring.

AMELIORATION DES PROPRIETES MECANQUES A LONG TERME EN VUE DE  
L'ELIMINATION DU PERLAGE DANS LES TUYAUTERIES EN PLASTIQUE  
RENFORCE DE FIBRES DE VERRE POUR LE TRANSPORT ET LA DISTRIBUTION  
D'EAU CHAUDE SOUS PRESSION - CHAUFFAGE URBAIN (RECHERCHE  
SUBSIDIEE PAR L'IRISIA)

A.M. Otto, W.H. Piret, C. Renaud  
Applications Development Technical Support

OWENS-CORNING FIBERGLAS EUROPE S.A.  
Battice, Belgique

## INTRODUCTION

Un rapport récent d'un groupe d'experts européens pour l'étude des modalités de limitation de nos besoins en énergie, a conclu que, "il s'agirait moins d'économiser l'énergie dans des conditions générales de gaspillage relatif, que de promouvoir ce que l'on appelle une utilisation rationnelle de l'énergie". La production combinée de chaleur et d'électricité figure parmi ces procédés d'utilisation rationnelle de l'énergie. La chaleur ainsi produite et distribuée par des tuyauteries de chauffage urbain est un procédé qui présente pas mal d'avantages par rapport au chauffage individuel ; notamment, l'économie de combustible due à l'augmentation du rendement, la diminution de la pollution par un meilleur réglage des chaudières et un dépoussiérage plus efficace, l'agrément d'un chauffage "sans soucis" pour l'utilisateur, etc... On comprend donc que la plupart des pays européens se penchent sur le développement du vecteur eau chaude parallèlement aux autres vecteurs d'énergie.

Que ce soit pour le transport à distance ou pour la distribution de calories, le développement du vecteur eau chaude est cependant lié à la mise au point d'un système de canalisation à la fois fiable et économique.

Pour limiter cette recherche, il a fallu, par une étude de marché, établir des spécifications de température, de diamètre et de pression, qui rencontreraient la plus grande partie du marché du chauffage urbain en Europe.

./...

### POUR VOTRE PROTECTION

Les informations et les recommandations contenues dans cette publication sont, à notre connaissance, fondées. Les suggestions proposées ne reflètent que l'opinion d'Owens-Corning Fiberglas et les utilisateurs devront faire leurs propres essais pour déterminer si ces recommandations sont applicables dans leur cas particulier. Toutefois, à cause des multiples facteurs affectant les résultats, Owens-Corning Fiberglas ne peut donner de garanties d'aucune sorte, soit explicites soit implicites, y compris en cas de commercialisation et d'adaptation à une application précise. Les données exposées dans cette brochure ne pourront donc pas être considérées comme garanties par Owens-Corning Fiberglas et engageant sa responsabilité.

Les informations concernant l'utilisation des produits et des formulations contenues dans cette publication ne doivent pas être considérées comme des recommandations poussant à empiéter sur un quelconque brevet et nous déclinons toute responsabilité dans le cas où de telles infractions, découlant de cette utilisation, se produiraient.

La plupart des sociétés concernées par la production combinée de chaleur et d'électricité s'accordent pour dire que la température de l'eau chaude devrait se situer entre 90°C et 140°C, et plus probablement aux environs de 130°C pour le départ, tandis que les températures de retour seraient de l'ordre de 50°C à 70°C.

Ceci résulte d'un compromis entre plusieurs exigences :

- (a) travailler avec un écart de température  $\Delta T$  le plus grand possible ;
- (b) les installations existantes des consommateurs exigent une température de retour minimale (de l'ordre de 60°C en hiver) ;
- (c) la température de départ ne peut pas être trop élevée car le prix de la giga-calorie en centrale augmente avec la température.

Les diamètres des tuyauteries concernées se répartissent entre 50 et 500 mm, dont la majeure partie se situe entre 100 et 200 mm.

Quant aux pressions de service envisagées, elles seraient de l'ordre de 16 à 25 bars ou éventuellement un peu plus selon les dénivellations du terrain.

Jusqu'il y a peu, pour répondre à ces exigences, pratiquement seuls les tuyaux en acier ou fonte ont été utilisés, bien que n'offrant pas entière satisfaction. Aujourd'hui, les plastiques renforcés de fibres de verre sont de plus en plus choisis comme candidats sérieux pour la réalisation de conduites de chauffage urbain. Les principales raisons en sont les suivantes :

- la faible conductibilité thermique des plastiques permet de réduire l'isolation ;
- leur insensibilité à la corrosion extérieure et leur relative flexibilité permet d'installer ces tuyauteries en pleine terre, sans caniveau et dans une tranchée fort étroite ;
- le matériau plastique renforcé de fibres de verre (PRV) peut absorber la dilatation thermique longitudinale sans aucune boucle ni autre compensateur de dilatation. Il suffit pour le comprendre de comparer la loi de Hooke pour le PRV et pour l'acier :

$$\frac{\sigma_{PRV}}{\sigma_a} = \frac{\epsilon_{PRV}}{\epsilon_a} \cdot \frac{E_{PRV}}{E_a} = \frac{\Delta / \cancel{\Delta T}}{\cancel{\Delta T}} \cdot \frac{a_{PRV}}{a_a} \cdot \frac{E_{PRV}}{E_a} \approx \frac{2}{1} \cdot \frac{1}{20} \approx \frac{1}{10}$$

./...



- l'absence de corrosion interne et externe, bien qu'étant d'influence difficilement chiffrable, n'en est pas moins négligeable.

Cependant, l'eau chaude est particulièrement agressive pour les stratifiés PRV qui, à son contact, voient leurs propriétés mécaniques diminuer au cours du temps. Il faut dans ce cas tenir compte d'un important facteur de réduction des propriétés mécaniques lors du dimensionnement des tuyauteries pour eau chaude.

Le but de la présente recherche menée par Owens-Corning Fiberglas à Battice (Belgique) est d'étudier la possibilité de réduire ou de retarder le vieillissement des stratifiés au contact de l'eau chaude, afin de mieux utiliser les propriétés mécaniques disponibles.

#### MECANISME DE LA DEGRADATION DES STRATIFIES

L'expérience montre que la dégradation des propriétés des PRV est liée à la perméabilité de ceux-ci vis-à-vis du milieu environnant, c'est-à-dire en ce qui nous concerne, l'eau.

Comme on le sait, la perméabilité vis-à-vis de l'eau relève de deux phénomènes : la solubilité et la diffusion.

La solubilité dépend principalement des caractéristiques physico-chimiques des molécules en présence, tandis que la diffusion est activée par deux forces : la température et le gradient de concentration. Il ne peut en effet y avoir de diffusion sans énergie thermique activant le mouvement brownien des molécules, et il ne peut y avoir de perméabilité sans une différence de concentration du solvant de part et d'autre de la membrane.

Remarquons en passant qu'il faut faire une nette distinction entre la perméabilité prise au sens ci-dessus et la diffusion non-activée, nous dirons plutôt la filtration, par des pores ou des microfissures. On observe d'ailleurs une différence de plusieurs ordres de grandeur entre les flux de ces deux types de diffusion.

Les effets de l'absorption d'eau sont multiples. D'une part, et de façon continue, l'insertion des molécules d'eau entre les molécules de plastique tend à plastifier celui-ci et l'on observe non seulement une chute du module d'élasticité et une diminution de la température de transition vitreuse, mais aussi un gonflement d'ailleurs variable selon le pourcentage et l'orientation des fibres de verre, pour chaque couche du stratifié. Certains auteurs ont même mentionné des contraintes de 10 N/mm<sup>2</sup>, uniquement dues à des variations de dilatations au sein des stratifiés au contact de l'eau à 60°C.

./...

D'autre part, et de façon discrète, la matière résineuse contient inévitablement un certain nombre de bulles, d'inclusions, d'impuretés, de constituants même, qui peuvent être dissous par l'eau de diffusion. Par osmose, cela crée, en ces points, des poches de pression et des concentrations de contraintes qui, à la longue peuvent être le siège de microfissures. Petit à petit, et avec l'apparition de capillarités le long des fibres de renfort, la diffusion activée se transforme ainsi en filtration et l'on finit par observer de fines gouttelettes d'eau à la surface extérieure du stratifié : c'est le phénomène de perlage.

#### COUCHE D'ETANCHEITE (LINER)

En vue de diminuer l'attaque par l'eau chaude et le vieillissement prématuré des stratifiés, l'utilisation d'une couche interne d'étanchéité apparaît comme la plus efficace des solutions.

A ce stade, il est bon de définir les exigences auxquelles la couche d'étanchéité doit satisfaire :

- . faible perméabilité à l'eau ;
- . haute température d'utilisation en continu ;
- . stabilité chimique vis-à-vis de l'eau même chaude ;
- . flexibilité même après vieillissement ;
- . bon rapport coût/performance.

Sur base d'une large compilation des données de la littérature et en fonction des critères énoncés, une présélection de neuf thermoplastiques a été retenue (température exprimée en °C) :

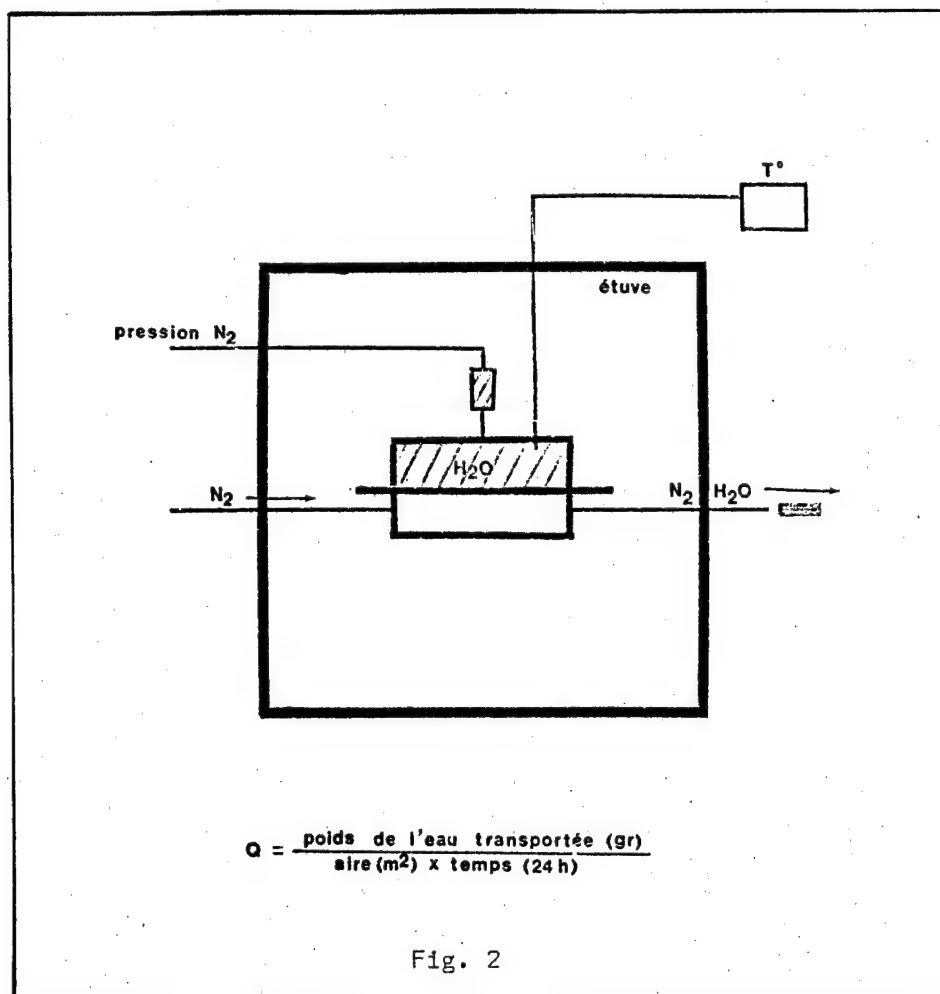
	<u>T<sub>max</sub></u>	<u>T<sub>fusion ou</sub></u> <u>dégradation</u>	
PVDF	140	170-175	$\{ \text{CH}_2 - \text{CF}_2 \}_n$
FEP	205	260-275	$\{ \text{CF}_2 - \text{CF}_2 \}_n - (\text{CF}_2 - \text{CF})_m$
PFA	260	305-340	$\{ \text{CF}_2 - \text{CF}_2 \}_n - (\text{CF} - \text{CF}_2)_m$ $\text{CF}_3$
E-TFE	155	270-273	$\{ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CF}_2 - \text{CF}_2 \}_n$ $\text{C}_3\text{F}_7$
E-CTFE	150	238-280	$\{ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CFCl} - \text{CF}_2 \}_n$
CTFE-VDF	150	202-204	$\{ \text{CClF} - \text{CF}_2 \}_n - (\text{CH}_2 - \text{CF}_2)_m$
PS	150	190	$\left( \begin{array}{c} \text{C}_6\text{H}_5 \\   \\ \text{O} - \text{C} - \text{O} - \text{O} - \text{S} - \text{O} \\   \quad \quad   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \quad \quad \text{O} \end{array} \right)_n$
PES	160	222-226	$\{ \text{O} - \text{S} - \text{O} \}_n$
PPS	170	262-282	$\{ \text{O} - \text{S} \}_n$

Fig. 1

## METHODE DE SELECTION DES COUCHES D'ETANCHEITE

Tous ces thermoplastiques sous forme de feuilles en différentes épaisseurs ont été soumis à des essais de perméabilité à l'eau chaude (surchauffée) de façon à déterminer la quantité d'eau transmise au travers de chaque feuille en fonction de l'épaisseur de TP ainsi que de la température et de la pression d'eau.

Le dispositif utilisé pour la mesure de la perméabilité est schématisé sur la figure 2.



La cellule de perméabilité est constituée de deux parties séparées par la feuille thermoplastique à étudier. D'un côté se trouve l'eau chaude dont la température est enregistrée par thermocouple et dont la pression est maintenue par une bonbonne d'azote. De l'autre côté, un courant

./...

d'azote sec recueille l'humidité traversant le thermoplastique et passe ensuite dans un tube de perchlorate de magnésium anhydre qui absorbe l'humidité recueillie. Des pesées de ce tube à intervalles de temps réguliers permettent de connaître la quantité d'eau passant à travers le film plastique. L'ensemble est placé dans une étuve qui permet d'étudier la perméabilité à différentes températures.

#### INFLUENCE DE L'ÉPAISSEUR DE LA COUCHE D'ÉTANCHEITE

Des mesures effectuées à température et pression constantes sur des feuilles thermoplastiques d'épaisseurs différentes ont montré que la quantité transmise de vapeur d'eau  $Q$  est inversement proportionnelle à l'épaisseur des thermoplastiques (figure 3).

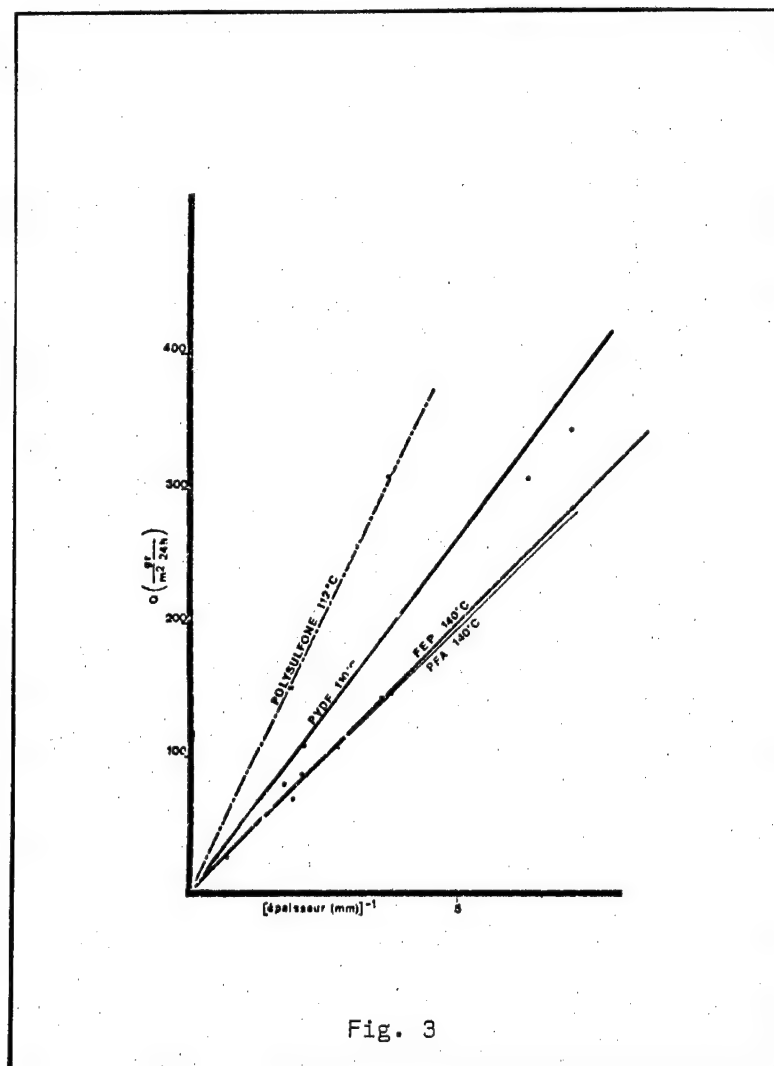


Fig. 3

./...

Pour faciliter la comparaison entre les matériaux, nous utilisons la quantité normalisée d'eau transmise, c'est-à-dire ramenée à une épaisseur de 1 mm :

$$Q_N = \frac{\text{poids de l'eau transmise (gr)}}{\text{surface (m}^2\text{) x temps (24 h)}} \times \text{épaisseur (mm)}$$

#### INFLUENCE DE LA PRESSION SUR LA PERMEABILITE

Dans le cas où le passage de l'eau au travers d'une membrane se fait par des pores, des micro-fissures ou des capillaires, les dimensions  $r$  et  $\Delta x$  des pores, la viscosité  $\eta$  du liquide et la différence de pression  $\Delta p$  de part et d'autre de la membrane sont les facteurs qui contrôlent la perméabilité. Il s'agit alors de ce que nous appelons "filtration", c'est-à-dire d'un écoulement visqueux qui suit la loi de Poiseuille :

$$q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta \Delta x}$$

Par contre, si la paroi ne présente pas de capillaires ou de porosités, le processus de passage de l'eau se passe à l'échelle moléculaire. Dans ce processus que nous appelons "diffusion activée", l'eau se dissout dans la membrane et diffuse ensuite dans la direction du plus faible potentiel chimique. Si les conditions sont maintenues constantes de part et d'autre de la membrane, il s'établit un flux d'eau constant qui suit la première loi de Fick sur la diffusion :

$$q = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

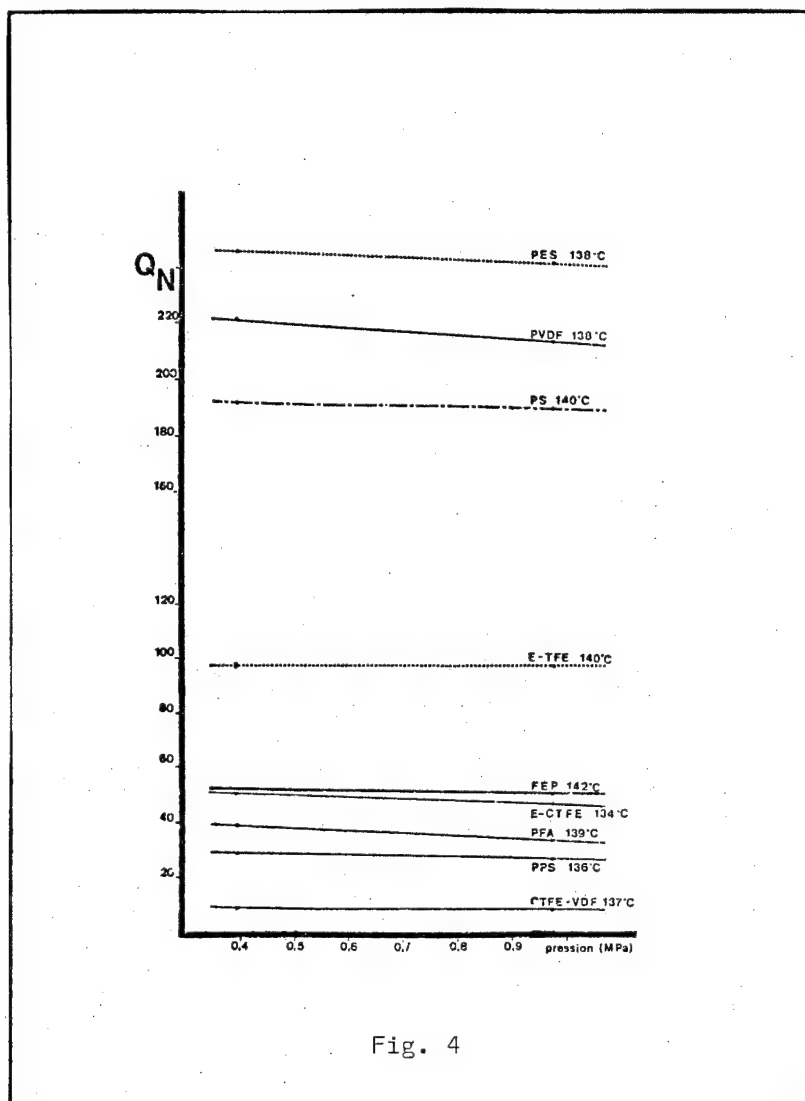
où :  $q$  = quantité d'eau / unité de surface et de temps

$D$  = coefficient de diffusion

$\frac{\Delta C}{\Delta x}$  = gradient de concentration d'eau dans la paroi d'épaisseur  $\Delta x$

./...

L'influence pratiquement nulle de la pression de l'eau sur la perméabilité des couches d'étanchéité thermoplastiques résulte clairement des essais réalisés à température constante entre 4 et 10 bars (figure 4).



./...

## INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LA PERMEABILITE

La perméabilité, c'est-à-dire l'ensemble de la solubilisation de l'eau et de sa diffusion dans la membrane plastique, est un phénomène fortement influencé par la température. Les mesures systématiques entre 90°C et 140°C de la perméabilité à l'eau de tous les thermoplastiques présélectionnés ont montré une croissance exponentielle avec la température (figure 5).

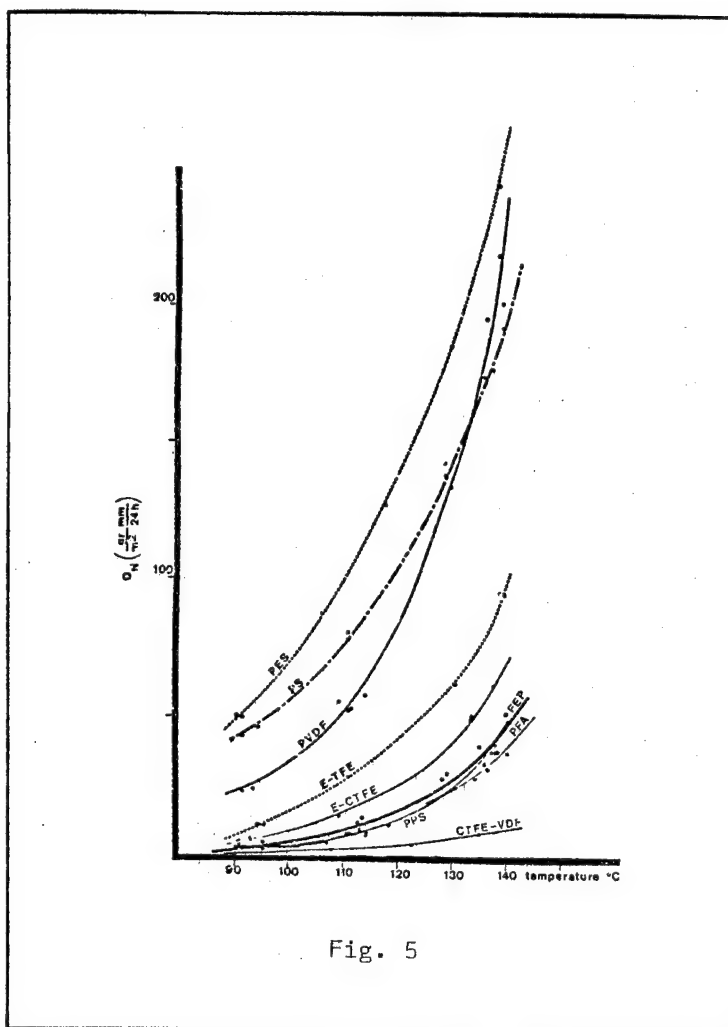


Fig. 5

./...

En réalité, comme tout phénomène de cinétique chimique, la perméabilité obéit à l'équation d'Arrhénius :

$$Q_N = Q_0 \exp - \frac{E_a}{RT}$$

où : T = température en degrés Kelvin

$Q_0$  = constante

R = constante des gaz parfaits

$E_a$  = énergie d'activation du phénomène de transmission

La figure 6 montre en effet que, pour tous les thermoplastiques envisagés,  $\log Q_N$  varie linéairement en fonction de l'inverse de la température (exprimée en degrés Kelvin).

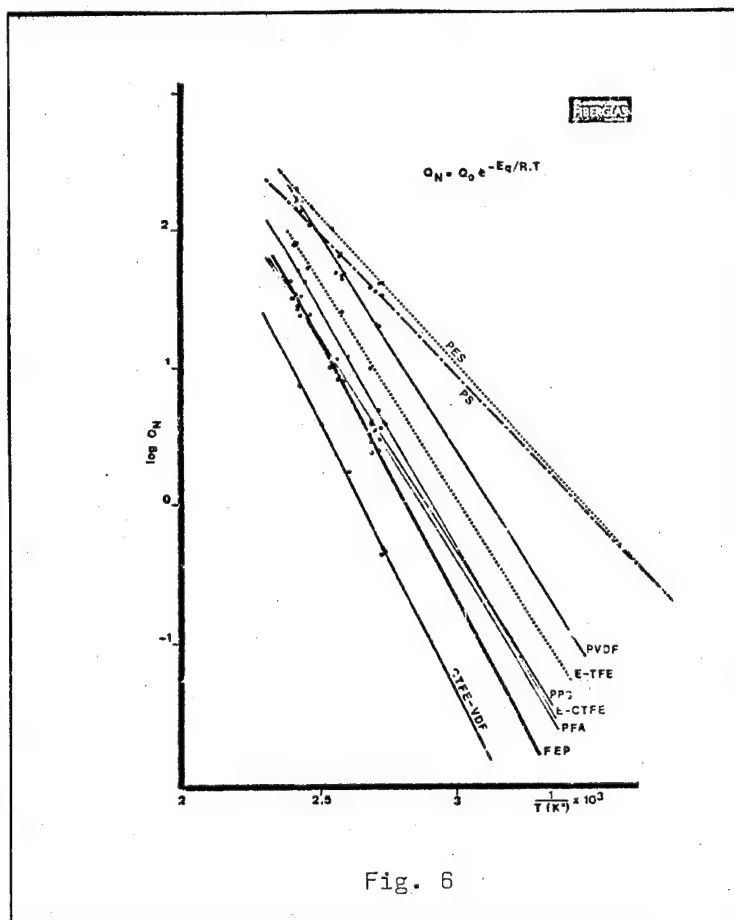


Fig. 6

./...



A partir de ces droites, il est possible de déterminer par interpolation, à d'autres températures, la quantité d'eau transmise par le polymère en un certain laps de temps. Une extrapolation n'est valable que si l'on reste dans un domaine de température où le polymère ne subit pas de modification physique importante (par exemple température de déflexion sous charge).

#### PRINCIPE DE SELECTION D'UNE COUCHE D'ETANCHEITE

Le premier critère de sélection d'une couche d'étanchéité est la perméabilité par unité d'épaisseur  $Q_N$  à la température d'utilisation spécifiée. On se base ainsi sur les valeurs données par les droites de la figure 6.

D'autre part, l'étanchéité étant proportionnelle à l'épaisseur de la couche thermoplastique, c'est-à-dire au volume de matière utilisée, il est logique de considérer le coût du granulé de matière première comme second critère de sélection.

Enfin, il faut également tenir compte d'autres caractéristiques des feuilles thermoplastiques telles que la fragilité et l'hydrolyse après vieillissement qui sont apparues en cours d'expérimentation.

Ainsi, pour une température de service de 140°C, le tableau repris sur la figure 7 montre que le meilleur rapport coût/performance est obtenu successivement pour le copolymère CTFE-VDF, pour le PPS et pour le FEP. Cependant, pour la suite de cette recherche, le CTFE-VDF a été écarté parce que excessivement fragile à la manipulation et de disponibilité encore limitée. Le PPS a également été écarté, étant à la fois fragile à la mise en oeuvre et s'hydrolysant rapidement au contact de l'eau à 140°C. Le candidat le plus fiable et que nous avons conservé pour le reste de cette recherche était le FEP. Il est bien évident que ce choix est en quelque sorte arbitraire et que le développement des différents produits comme les disponibilités du marché peuvent avoir changé cette situation.

	Prix (FB/cm <sup>3</sup> )	$Q_N(140^\circ\text{C})$ $\left(\frac{\text{g mm}}{\text{m}^2 \text{ 24 h}}\right)$	Prix x $Q_N$
CTFE-VDF	1,638	10	16
PPS	0,368	48	18
FEP	1,277	46	59
PS	0,363	196	71
E-CTFE	1,142	69	79
PFA	2,397	39	94
E-TFE	1,351	98	132
PVDF	0,708	240	170
PES	0,699	263	184

Fig. 7

## RAPPORT DES PERMEABILITES : STRATIFIE / THERMOPLASTIQUE

Des résultats précédents, il apparaît que la quantité d'eau passant au travers d'un thermoplastique n'est pas tout à fait négligeable. Que devient cette eau dans le cas d'un stratifié plastique renforcé de fibres de verre et protégé par une feuille thermoplastique ? L'eau qui traverse le thermoplastique peut soit s'accumuler dans le stratifié, soit le traverser, soit les deux. Il y a donc intérêt à prendre en considération la perméabilité des stratifiés. La figure 8 montre la variation de  $Q_N$  en fonction de la température pour un stratifié polyester renforcé de mat et de rovings avec un taux de verre de 50%. Pour mémoire, la figure reprend également la courbe de la perméabilité du FEP.

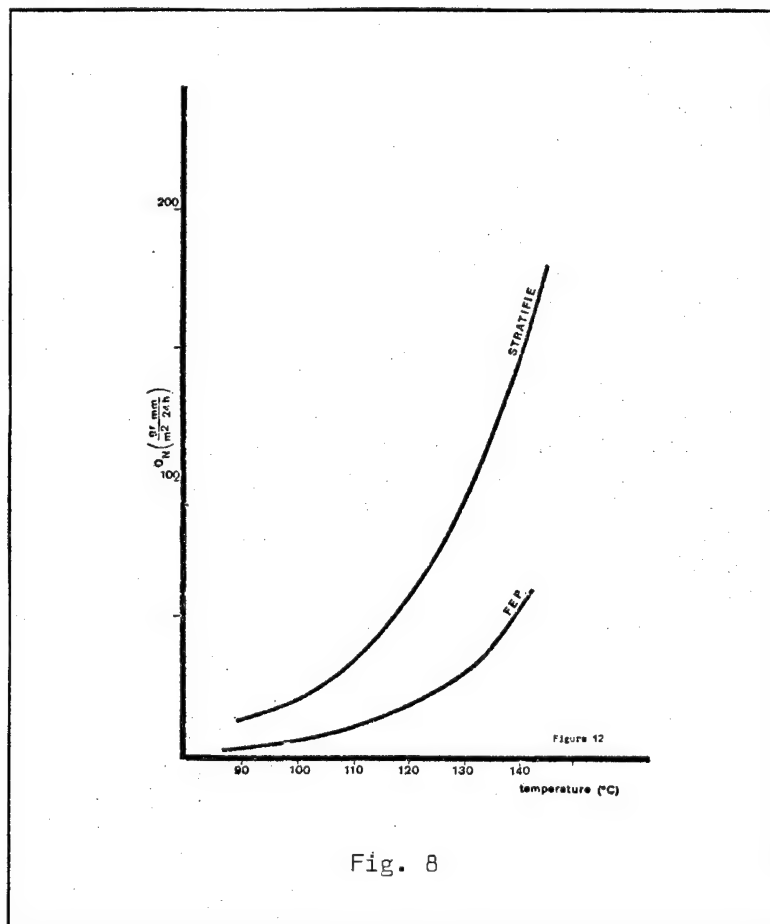


Fig. 8

Pour l'étude d'un stratifié muni de sa couche d'étanchéité, il faut alors distinguer trois cas possibles selon le rapport des perméabilités totales, feuille thermoplastique/stratifié :

### 1. FEUILLE THERMOPLASTIQUE PLUS PERMEABLE QUE LE STRATIFIE

L'eau arrive plus rapidement par le thermoplastique qu'elle ne s'échappe

./...

par le stratifié. Il y a donc accumulation à l'interface et il en résulte : une attaque de l'adhésion thermoplastique-stratifié avec, éventuellement, formation de poches d'eau à l'interface, et, par suite de cette concentration en eau élevée à l'interface, une attaque relativement importante du stratifié.

## 2. FEUILLE THERMOPLASTIQUE MOINS PERMEABLE QUE LE STRATIFIE

Ici, l'eau peut s'échapper plus vite par le stratifié qu'elle n'entre par le thermoplastique. La concentration en eau à l'interface est dès lors maintenue à son minimum et l'attaque du stratifié par hydrolyse reste faible, voire nulle.

## 3. FEUILLE THERMOPLASTIQUE ET STRATIFIE D'EGALE PERMEABILITE

Dans ce cas, l'eau s'échappe par le stratifié au fur et à mesure qu'elle arrive à travers le thermoplastique. Comme schématisé sur la figure 9, il s'établit deux gradients de concentration relative dans le composite : le premier, relativement élevé, dans le thermoplastique, entre la concentration sur la face exposée à l'eau et celle de l'interface ; le deuxième, plus faible, dans le stratifié, entre la concentration à l'interface et la concentration du côté de la face sèche du stratifié.

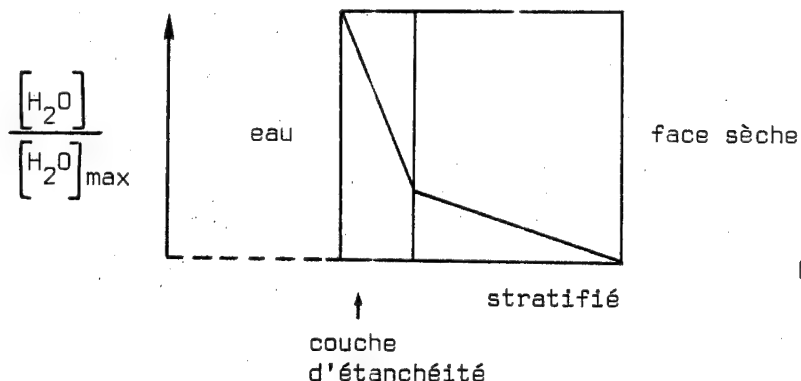


Fig. 9

Afin de limiter à une valeur relativement faible la concentration en eau à l'interface et d'éviter ainsi une dégradation rapide du stratifié, il est donc nécessaire que la perméabilité de la couche d'étanchéité soit inférieure ou, tout au plus, égale à la perméabilité du stratifié PRV.

./...

On a pu vérifier ce critère en soumettant au vieillissement deux stratifiés semblables, l'un de 4 mm d'épaisseur, l'autre de 8 mm, mais tous deux protégés par une couche de 1,5 mm de FEP (figure 10). Déjà après 10 jours de vieillissement au contact de l'eau à 140°C, le stratifié de 8 mm avait perdu pratiquement 100% de son adhésion avec le thermoplastique et était hydrolysé sur environ 40% de son épaisseur alors que le stratifié de 4 mm, satisfaisant au critère énoncé ci-dessus, était pratiquement intact.

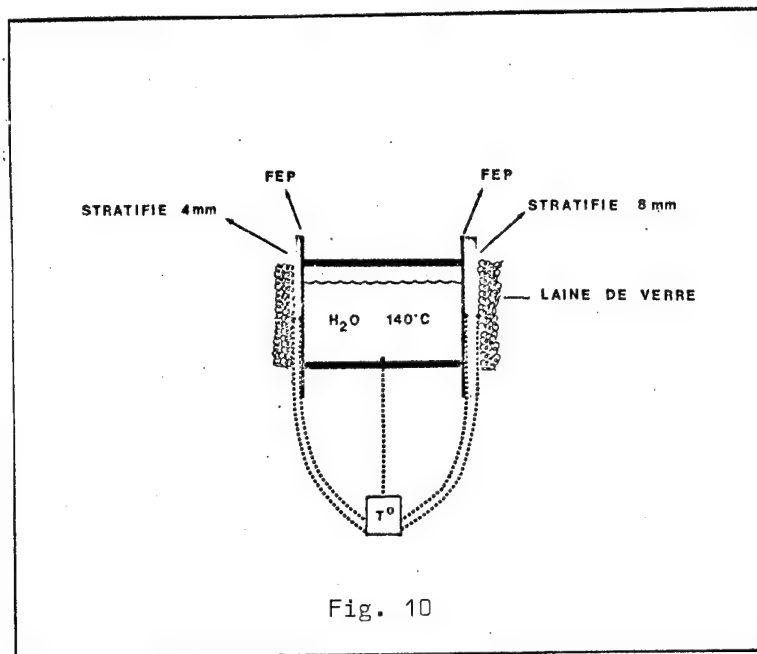


Fig. 10

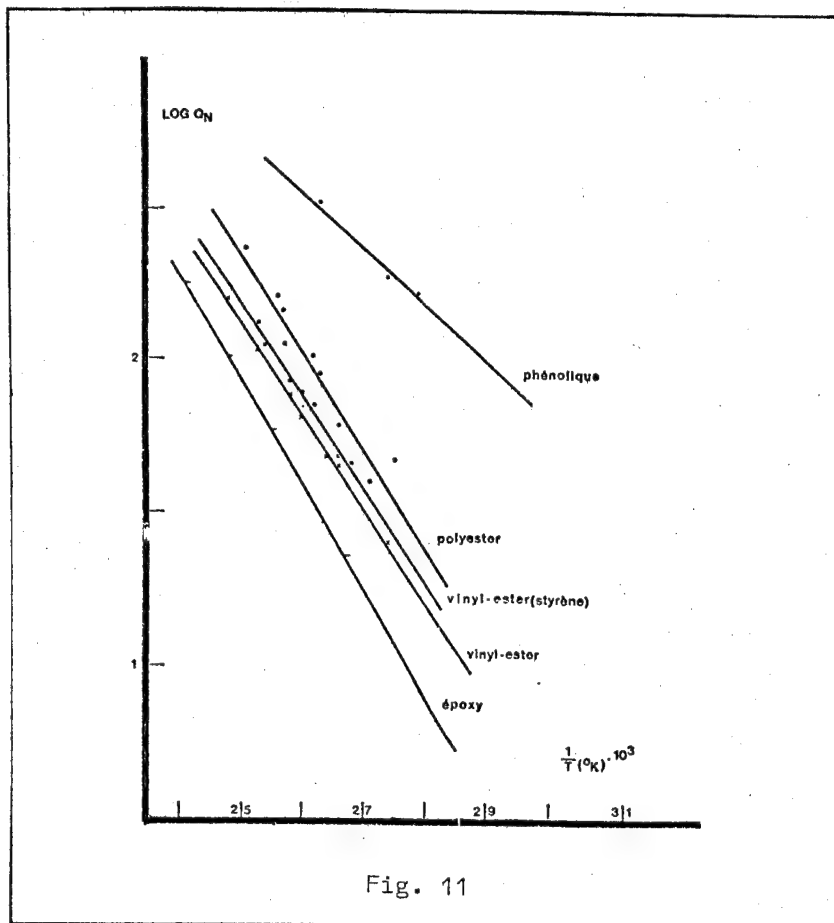
Il ne suffit donc pas de sélectionner un thermoplastique de faible perméabilité pour avoir une bonne protection. Encore faut-il, une fois l'épaisseur du stratifié calculée en fonction des conditions de service, dimensionner l'épaisseur de la couche d'étanchéité par rapport à celle du stratifié de façon à égaliser leur perméabilité.

## FACTEURS INFLUENCANT LA PERMEABILITE DES STRATIFIES

Afin de développer un matériau compétitif, il y a intérêt à utiliser des chemises d'étanchéité d'épaisseurs aussi faibles que possible. Ceci nous a amené à examiner les facteurs influençant la perméabilité des stratifiés et les possibilités éventuelles de l'augmenter.

### (a) La résine thermodurcissable (figure 11) :

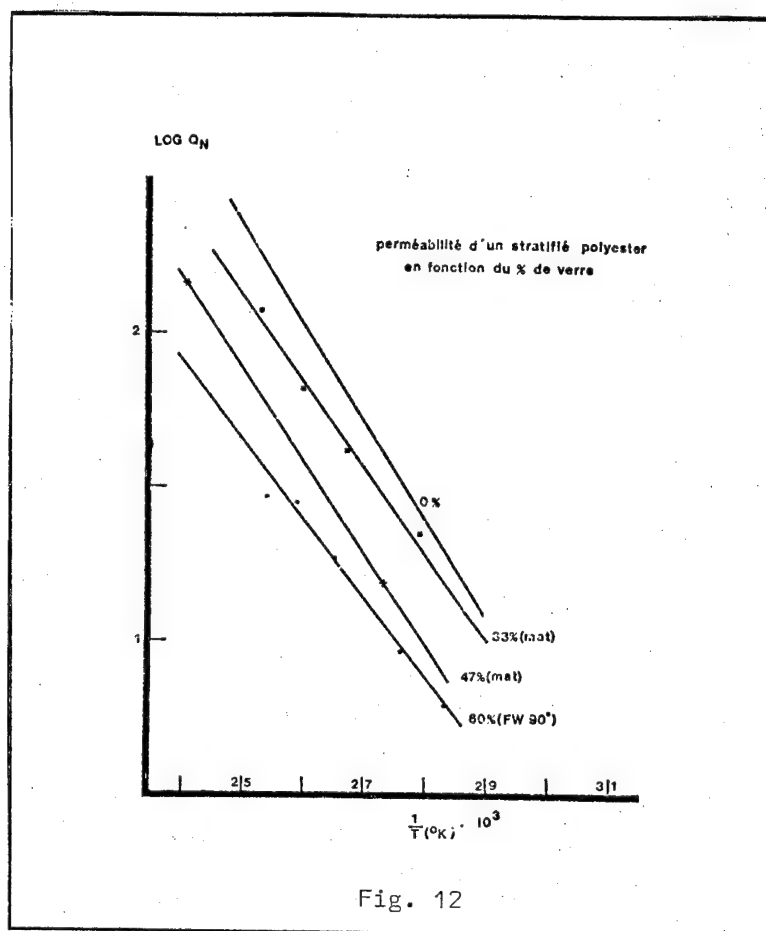
On constate que les résines phénoliques sont nettement plus perméables que les autres ; cela est dû à leur caractère hydrophile et à la présence d'interstices formés par l'eau libérée lors de la réaction de polycondensation. On constate également que les autres résines comportant des groupes ester se concentrent dans une même zone tandis que les résines époxy sont sensiblement moins perméables. Dans l'état actuel des choses, cependant, l'utilisation d'époxy semble encore inévitable pour des tuyauteries travaillant à des températures supérieures à 110°C.



./...

(b) Le renfort de verre (figure 12)

Sans entrer dans le détail, car il est évident que le type de renfort (mat, roving orienté, tissu, ...) et son orientation par rapport à la direction de diffusion ont une influence non négligeable sur la perméabilité, il apparaît que la perméabilité diminue pour un taux de verre croissant. On ne peut cependant pas diminuer le taux de renfort sans compromettre les propriétés mécaniques du stratifié.



(c) Incorporation de charges poreuses :

Dans l'espoir d'augmenter la perméabilité, différentes charges ont été ajoutées à des stratifiés identiques : perlite, vermiculite, pierre ponce et terre de diatomée. Comme le montre

./...

la figure 13, les résultats ne sont pas ceux escomptés puisque la présence de charges, même poreuses, diminue quelque peu la perméabilité. Cette diminution peut s'expliquer par une augmentation plus importante du chemin de diffusion que de la solubilité de l'eau dans le stratifié. Cependant, après 15 jours de vieillissement à 130°C, le phénomène de diffusion activée (perméabilité indépendante de la pression) s'est transformé en filtration au travers de capillaires avec apparition du perlage (perméabilité variant avec la pression).

Quoi qu'il en soit, l'addition de charges poreuses influence les propriétés mécaniques d'une façon telle que cette solution apparaît comme inacceptable. En effet, si, pour 5 à 10% en poids de charges, le module d'élasticité se trouve relevé de 5 à 10%, par contre, les résistances en traction et en flexion chutent de 10 à 30%.

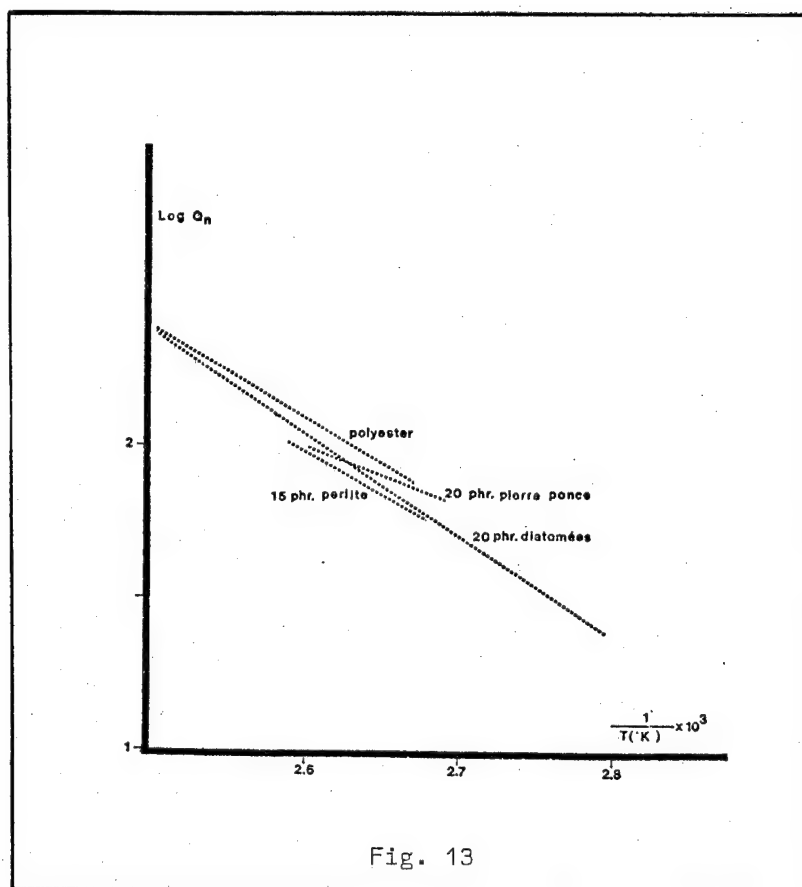
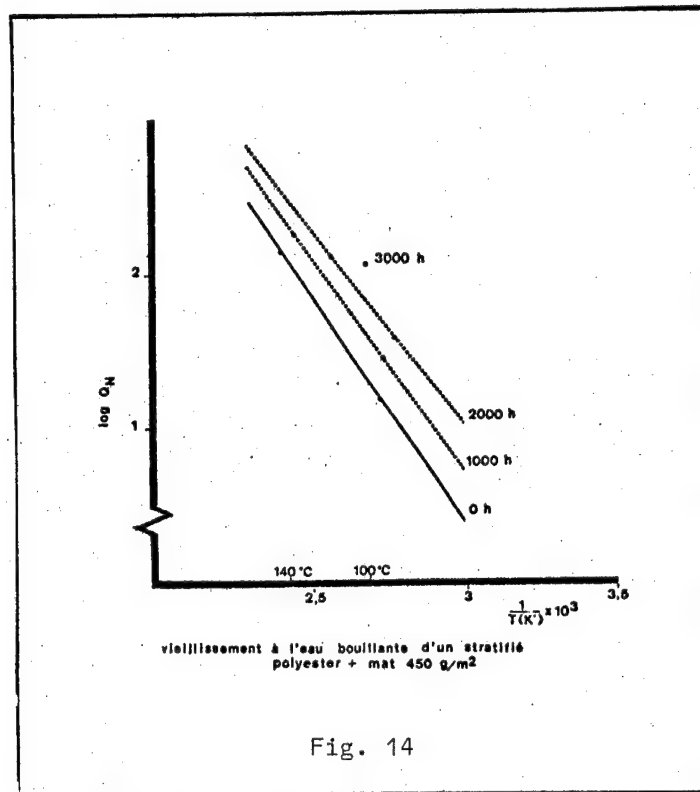


Fig. 13

./...

(d) Vieillissement des stratifiés :

Le vieillissement sous l'action de l'eau des stratifiés non seulement diminue leurs propriétés mécaniques, mais augmente aussi leur perméabilité (figure 14). Cette augmentation de perméabilité accélère encore le processus de vieillissement. C'est, de nouveau, ce qui justifie l'utilisation de couches d'étanchéité dont les propriétés ne sont pas altérées au cours du temps.



./...



## DIMENSIONNEMENT DES STRATIFIES ET CONTRAINTES ADMISSIBLES

Quand il s'agit de dimensionner un tuyau en PRV pour une application donnée, on élabore généralement une construction de base pour le stratifié. Celui-ci est ainsi constitué d'un certain nombre de couches ayant chacune leur épaisseur, taux de verre, type et orientation de renforcement, ainsi que leurs propres propriétés élastiques et coefficients de dilatation thermique. Connaissant les charges extérieures appliquées (pressions et température de service, moment de flexion, etc...), il est possible de calculer les contraintes et dilatations, selon les directions principales, pour chacune des couches du stratifié. Lorsque les contraintes ou allongements dans l'une ou l'autre couche dépassent les valeurs maximales admissibles, il faut modifier la construction du stratifié et recommencer le calcul. La comparaison des valeurs obtenues aux valeurs admissibles peut se faire sur base des dilatations ou des contraintes. Les critères de rupture utilisés dans ce cas sont généralement de la forme :

$$\left(\frac{s_1}{\sigma_1}\right)^2 + \left(\frac{s_2}{\sigma_2}\right)^2 - \left(\frac{s_1 s_2}{\sigma_1^2}\right) + \left(\frac{t_{\#}}{\tau_{\#}}\right)^2 = 1$$

où  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  et  $\tau_{\#}$  sont les contraintes de référence.

Très souvent, ces valeurs de base sont grossièrement estimées au temps zéro et affectées d'un ou de plusieurs coefficients de sécurité pour tenir compte des conditions de service plus ou moins sévères.

Il apparaît donc que l'on pourra dimensionner les stratifiés avec d'autant plus de précision que ces données de référence seront connues à long terme dans des conditions aussi proches que possible de la réalité.

./...

## PROPRIETES MECANIQUES DES STRATIFIES UNIDIRECTIONNELS EN FONCTION DU TEMPS

En vue de fournir ces données indispensables, des échantillons plans en polyester (UP) et en époxy (EP) avec renforcement unidirectionnel de fibres de verre ont été fabriqués par un enroulement filamentaire circonférentiel sur un mandrin plat. Après avoir disposé sur les stratifiés une feuille de thermoplastique (FEP) dont la surface a été prétraitée, l'ensemble a été pressé entre deux plaques métalliques. Des cales d'épaisseur ont permis d'obtenir des échantillons d'épaisseur constante avec un taux de verre de 71% ( $\pm 2\%$ ) en poids. Après polymérisation et post-cuisson, ces plaques ont été disposées sur des autoclaves de façon à en former les deux fonds. Ces autoclaves permettant des essais sous pression et à température supérieure à 100°C sont de dimensions et de principe très semblables au dispositif normalisé par DIN et AFNOR pour les essais de corrosion à température (DIN 53393 - AFNOR NF-M88-550). Après des temps de vieillissement déterminés (100, 320, 1000, 2000, 3200 heures) à 100°C et 130°C, les plaques d'essai ont été démontées et découpées en une dizaine de petits échantillons.

Les propriétés résiduelles obtenues jusqu'à présent par des essais de flexion (3 points) et de traction selon les directions parallèle et perpendiculaire au renforcement sont représentées sur les figures 15 à 21.

Après des périodes de vieillissement de  $\pm 2000$  heures, il serait fallacieux de tirer des conclusions définitives. Des essais à plus long terme s'imposent si l'on veut déterminer, par une extrapolation jusqu'à 50 ans, les valeurs des contraintes admissibles.

On voit cependant très nettement se dessiner des tendances et il apparaît que la présence d'une couche d'étanchéité garantit un pourcentage de propriétés résiduelles d'autant plus élevé que cette couche est imperméable.

Dans l'estimation du coût total d'une tuyauterie de chauffage urbain, il semble que cette garantie d'étanchéité, la rétention accrue des propriétés mécaniques à long terme du stratifié et les réductions d'épaisseur et de coefficient de sécurité qui en découlent, feront plus que compenser le supplément de coût apporté par la chemise d'étanchéité.

---

### Remerciements :

Owens-Corning Fiberglas Europe S.A. remercie "l'Institut pour l'Encouragement à la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture - IRSIA" pour le subside et l'intérêt accordés à cette recherche.

C. Renaud est particulièrement reconnaissant vis-à-vis de ses collègues et secrétaires pour leur collaboration à la préparation de ce travail.

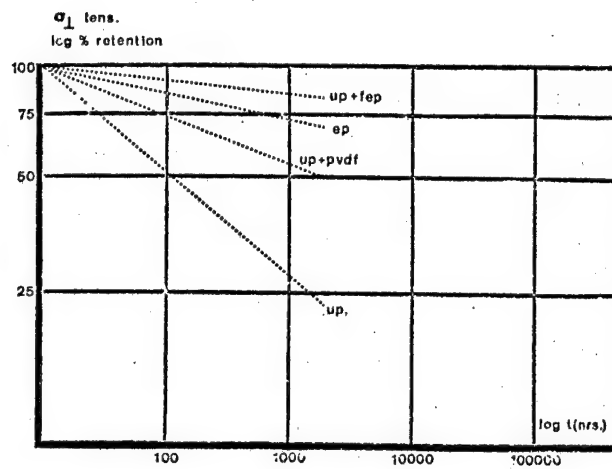


Fig. 15. Résistance en traction perpendiculaire en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 100°C.

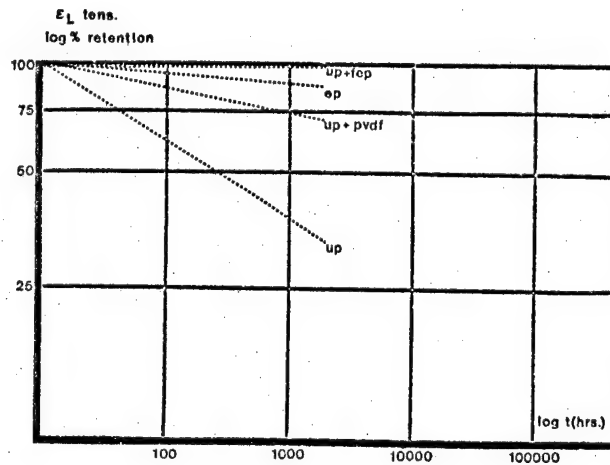


Fig. 16. Allongement de rupture en traction perpendiculaire en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 100°C.

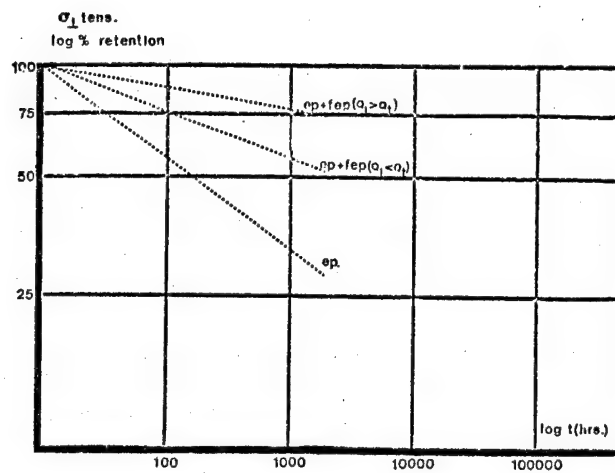


Fig. 17. Résistance en traction perpendiculaire en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 130°C.

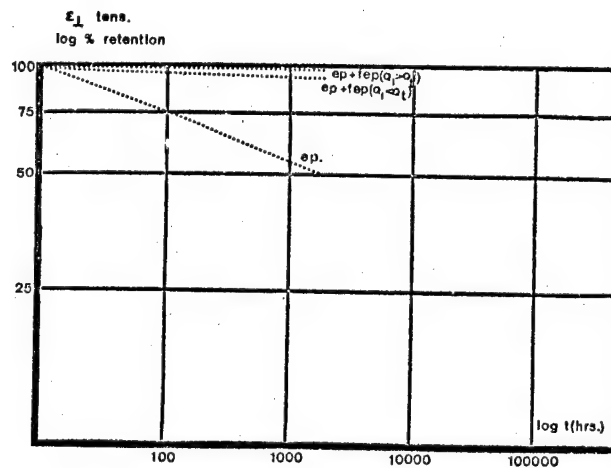


Fig. 18. Allongement de rupture en traction perpendiculaire en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 130°C.

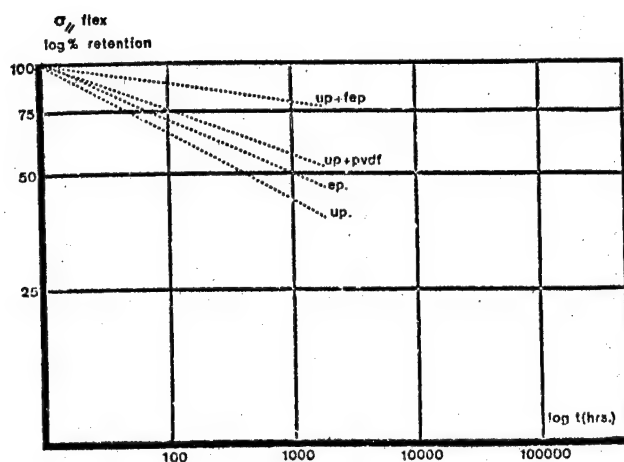


Fig. 19. Résistance en flexion parallèle en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 100°C.

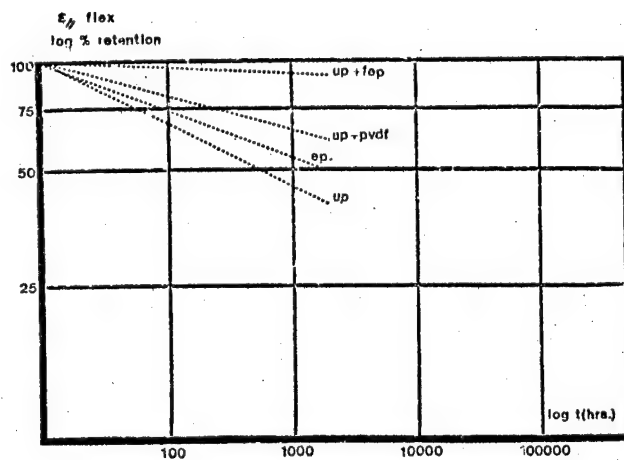


Fig. 20. Allongement de rupture en flexion parallèle en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 100°C.

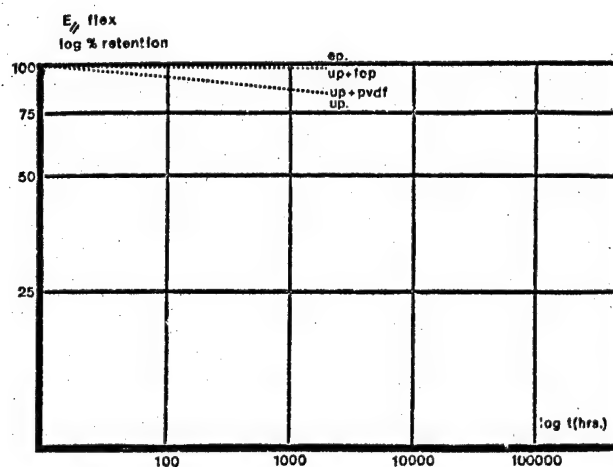


Fig. 21. Module d'élasticité en flexion parallèle en fonction du temps de vieillissement au contact de l'eau à 100°C.

DER 4-PUNKT-BIEGEVERSUCH MIT EINFACHEN MITTELN - EINE METHODE  
ZUR VORDIMENSIONIERUNG UND ZUR QUALITÄTSKONTROLLE

THE 4-POINT BEND TEST WITH SIMPLE MEANS - A METHOD FOR PRE-  
DEMENSIONING AND QUALITY CONTROL

Mr Robert MÜLLER

Abteilung Kunststoffe

Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA), Dübendorf, Switzerland

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird eine einfache Versuchsanordnung zur Ermittlung der wichtigsten statischen Kurz- und Langzeit-Kennwerte vorgestellt. Die Methode ist eine einfache Hilfe zur Dimensionierung eines Vorprojektes und zur Qualitätskontrolle bezüglich Verstärkung und Aushärtung. Im Laborversuch mit GF-UP-Mattenlaminaten wird die Gültigkeit der Berechnung von Dehnung und Spannung aus Last und Durchbiegung dargestellt.

SUMMARY

A simple group of tests is presented for determining the most important static long and short term nominal values. The method is a simple aid to the design calculation of a pre-project and for quality control of reinforcement and curing. From laboratory tests on GRP-mat laminates, good correlation between predicted elongation and tension values from load and bending measurements is demonstrated.

DER VIER-PUNKT-BIEGEVERSUCH MIT EINFACHEN MITTELN - EINE METHODE  
ZUR VORDIMENSIONIERUNG UND QUALITÄTSKONTROLLE

Robert Müller

Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt (EMPA)  
Abteilung Kunststoffe

CH - 8600 Dübendorf

1. EINLEITUNG

Dieser Beitrag richtet sich besonders an kleine und mittel-grosse Betriebe der GFK-Verarbeitung, die ihre Ertragslage durch vermehrte Eigenkontrolle zu verbessern wünschen.

Eine wirtschaftliche GFK-Verarbeitung ist von ausserordentlich vielen Faktoren abhängig. Im Vergleich zu anderen Werkstoffen sind hier folgende zusätzliche Gesichtspunkte zu berücksichtigen: Materialgerechte Gestaltung und Dimensionierung, Art und Anteil der Verstärkungsmaterialien, Verarbeitungsbedingungen und - last not least - Handfertigkeit und Zuverlässigkeit der Ausführenden.

Im Vorprojektstadium ist die richtige Dimensionierung unter den genannten Gesichtspunkten eine erfolgsbestimmende Massnahme. Sie setzt die Kenntnis nicht nur der theoretisch richtigen, sondern auch der praktisch realisierbaren Materialkennwerte voraus. Während der Produktion ist die Einhaltung der vorgegebenen Materialqualität eine zusätzliche Erfolgsbedingung. Eine zu hohe Ausschussrate kann ein Projekt unwirtschaftlich machen oder gar die Existenz des Betriebs gefährden.

Zur Ermittlung der tatsächlich realisierbaren und konstant gehaltenen Materialkennwerte nach einschlägigen Normen werden Prüfmaschinen benötigt, die sich nur wenige Grossbetriebe leisten können. Die grosse Zahl kleiner und mittlerer Betriebe ist auf Prüfinstitute angewiesen, deren Tarife und Termine oft eine wirtschaftliche und rasche Abwicklung solcher Untersuchungen erschweren.

Im folgenden wird eine einfache Prüfvorrichtung vorgeschlagen, die sich auch ein Kleinbetrieb mit bescheidenen Mitteln selber einrichten kann. Mit etwas Sorgfalt und Geduld können näherungsweise wichtige Kennwerte wie Elastizitätsmodul, Biegefestigkeit und Randfaserdehnung sowie das Kriechverhalten von Proben aus der eigenen GFK-Produktion



bestimmt werden. Da mit einer solchen Einfachvorrichtung nicht alle Normbedingungen eingehalten werden können, kann diese Methode keine Normversuche ersetzen, die für statische Berechnungen und Nachweise auf alle Fälle eingesetzt werden müssen.

Die vorgeschlagene Methode eignet sich besonders zur Bestimmung von Kennwerten zur Vordimensionierung und Qualitätskontrolle, im besondern zur Ueberwachung der Aushärtungsbedingungen, die bei kaltgehärteten Handlaminaten schwierig zu kontrollieren sind.

## 2. EINFACHE VIER-PUNKT-BIEGEVORRICHTUNG

Die vorgeschlagene Biegevorrichtung basiert auf dem Vier-Punkt-Biegeversuch zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls nach DIN 53'457 (1). Die Probekörpergrössen und die Auflagerspannweiten nach dieser Norm sind ausgelegt für harte, homogene Kunststoffe. Um der oft weniger homogenen Struktur von GFK-Laminaten, besonders derjenigen von handgefertigten Schichten, besser Rechnung zu tragen, wird eine ungefähre Verdoppelung der Abmessungen der Norm empfohlen. Mit handelsüblichen U-Profilen aus Stahl werden Auflager und Belastungsstempel für zwei Proben gemäss Abbildung 1 angeordnet.

Für zuverlässige Messungen sind millimetergenaue Geometrie und Symmetrie unerlässlich. Die Auflagerkanten müssen parallel und eben verlaufen, die Bearbeitung der Kanten zur Erzielung gleichförmiger Auflager mit einem Radius von ca. 2 mm wird empfohlen. Die symmetrische Anordnung der Proben, des Belastungsprofils und der Belastungsgewichte kann durch Lehren erreicht werden. Die Messung der Durchbiegung erfolgt mit einer gewöhnlichen Schiebelehre direkt zwischen oberem Belastungsprofil und der Probenoberseite.

Der Fehler infolge Eindrücken des Belastungsprofils in die Probe kann bei GFK-Materialien vernachlässigt werden. Es ist wichtiger, mit Hilfe von Marken auf Profil und Probe sicherzustellen, dass immer an der gleichen Stelle gemessen wird. Geringe Unterschiede der Durchbiegungen der beiden Proben können vernachlässigt werden, es sollten jedoch immer zwei identische Proben verwendet werden. Ein Doppelversuch ist an sich das Minimum, welches in der Materialprüfung gefordert wird. Bei grossen Streuungen sollte entweder der Versuch wiederholt oder weitere Parallelversuche durchgeführt werden.

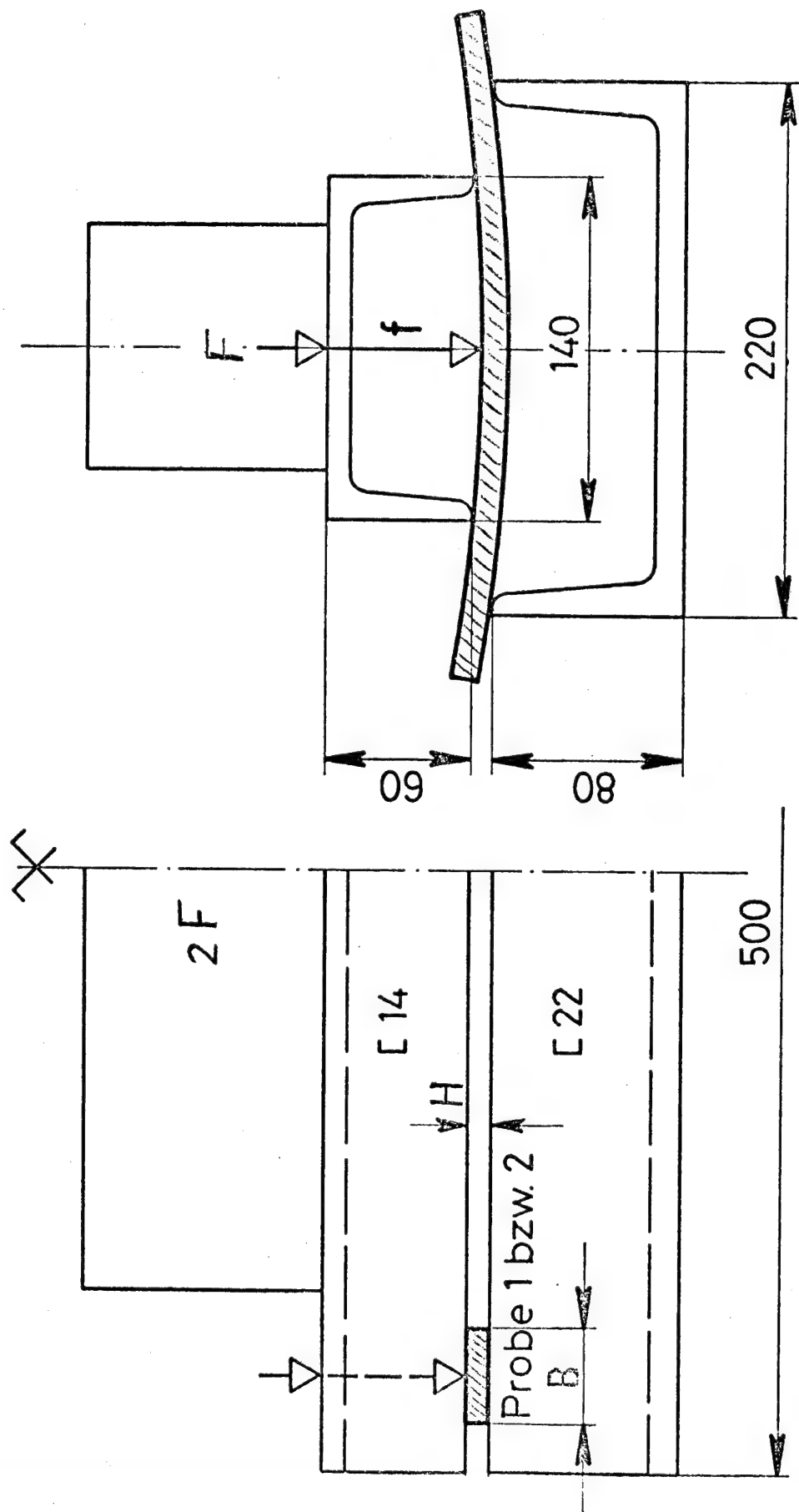


Abb. 1: Vier-Punkt-Biegevorrichtung mit einfachen Mitteln.

Selbstverständlich muss das Umgebungsklima möglichst konstant sein. Wenn kein klimatisierter Raum zur Verfügung steht, werden die Versuche vorzugsweise in einem trockenen Kellerraum ohne direkte Sonneneinstrahlung durchgeführt. Ein Thermometer, auf der gleichen Höhe wie die Versuche angeordnet, gehört zur minimalen Ausrüstung und muss jeweils vor und nach dem Versuch abgelesen werden. Mit einem Hygrometer sollte auch die Luftfeuchtigkeit überwacht werden. Das Prüfklima nach Norm beträgt  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  und  $50\% \pm 5\%$  relative Luftfeuchte. Es sollte genügen, die Raumtemperatur zwischen  $15$  und  $20^{\circ}\text{C}$  konstant und die relative Luftfeuchte unter  $60\%$  zu halten.

Als Belastungsgewichte eignen sich Stahl- oder Bleibarren in  $10\text{ kg}$  und  $20\text{ kg}$ -Einheiten, deren Form und Anordnung so gewählt werden, dass die Symmetrie stets gewährt bleibt. Als weitere Hilfsmittel werden benötigt:

- Tisch- oder Dezimalwaage mit  $100\text{ g}$ -Teilung bis mindestens  $20\text{ kg}$
- ein einfacher Taschenrechner
- tabellarische Protokollblätter (vgl. Tabelle 1)
- Diagrammblätter mit  $1\text{ mm}$ - oder  $5\text{ mm}$ -Teilung

### 3. BESTIMMUNG DES ELASTIZITÄTSMODULS

Nach der Norm ist der Elastizitätsmodul bei einer Durchbiegung zu messen, bei der die Randfaserdehnung  $5\text{ }^{\circ}/\text{oo}$  beträgt. Diese Limite darf je nach Materialart auch höher liegen. Bei der Versuchsauswertung ist nur darauf zu achten, dass der Quotient aus der Kraft  $F$  und der Durchbiegung  $f$  für mindestens drei Messpunkte möglichst konstant ist. Das Spannungs-Dehnungsdiagramm soll dabei einen gradlinigen Verlauf aufweisen. Die in der Norm geforderte Belastungsgeschwindigkeit von  $10\text{ }^{\circ}/\text{oo}$  Dehnung pro Minute kann bei einem manuellen Versuch kaum eingehalten werden. Man muss deshalb beachten, die Belastungsgewichte in einem gleichmässigen Rhythmus aufzubringen und die Messungen ebenfalls im gleichen Takt durchzuführen. Bei kriechanfälligen Materialproben können bei zu langsamer Belastung zu niedrige E-Modulwerte gemessen werden.

Die Berechnungsformeln und die Bedeutung der Symbole werden im Abschnitt 6 gegeben.

In der Tabelle 1 und der Abbildung 2 wird ein Beispiel der E-Modulbestimmung an einem schlecht ausgehärteten GF-UP-Mattenlaminat dargestellt. Das Laminat wies eine ursprüngliche Dicke von ca. 15 mm auf. Durch Halbierung der Probe in eine äussere (formseitige) und eine innere Schichthälfte konnten nicht nur zwei praktikable Probenstäbe erzeugt, sondern auch deren unterschiedliche Aushärtegrade nachgewiesen werden.

#### 4. BESTIMMUNG DER BIEGEFESTIGKEIT

Sowohl die DIN- als auch die ISO-Normen (2 und 3) verwenden für die Bestimmung der Biegefestigkeit und der Randfaserdehnung bei Bruch die Drei-Punkt-Biegeanordnung. Auf die Probleme im Zusammenhang mit den verschiedenen Versuchsanordnungen wird in diesem Beitrag nicht eingegangen. Man muss hier besonders berücksichtigen, dass nur solche Versuchsergebnisse miteinander vergleichbar sind, die unter gleichen Versuchsbedingungen gewonnen wurden.

Im vorgeschlagenen Vier-Punkt-Biegeversuch kann wie im bereits beschriebenen E-Modulversuch verfahren werden. Es können dabei grössere Belastungsstufen gewählt werden, sofern auch hier die Intervalle beim Belasten und Messen gleich lang gehalten werden.

Die aufeinander geschichteten Belastungsgewichte können bis zum Bruch einer Probe eine beachtliche Höhe erreichen. Gestalt und Anordnung der Belastungsgewichte sollten unbedingt unter diesem Gesichtspunkt gewählt werden. Eine weitere Sicherung gegen Einsturz des Gewichteturms ist notwendig, um Schäden oder Unfälle zu vermeiden. In der Regel wird kurz vor dem Bruch ein verstärktes Knistern hörbar, von diesem Moment an muss auf die Durchbiegungsmessung verzichtet werden. Die Randfaserdehnung beim Bruch kann angenähert aus den letzten Messungen extrapoliert werden.

Die Auswertung dieses Versuchs erfolgt nach den Formeln im Abschnitt 6, wobei der E-Modul auch aus der ersten Hälfte des Versuchsablaufs ermittelt werden kann.

In der Tabelle 2 und der Abbildung 3 sind die Ergebnisse eines Biegebruchversuchs mit zwei Proben aus dem gleichen GFK-Laminat wie beim E-Modulversuch dargestellt. Dabei wurden zwei äussere Schichthälften mit ungefähr gleichem E-Modul verwendet.



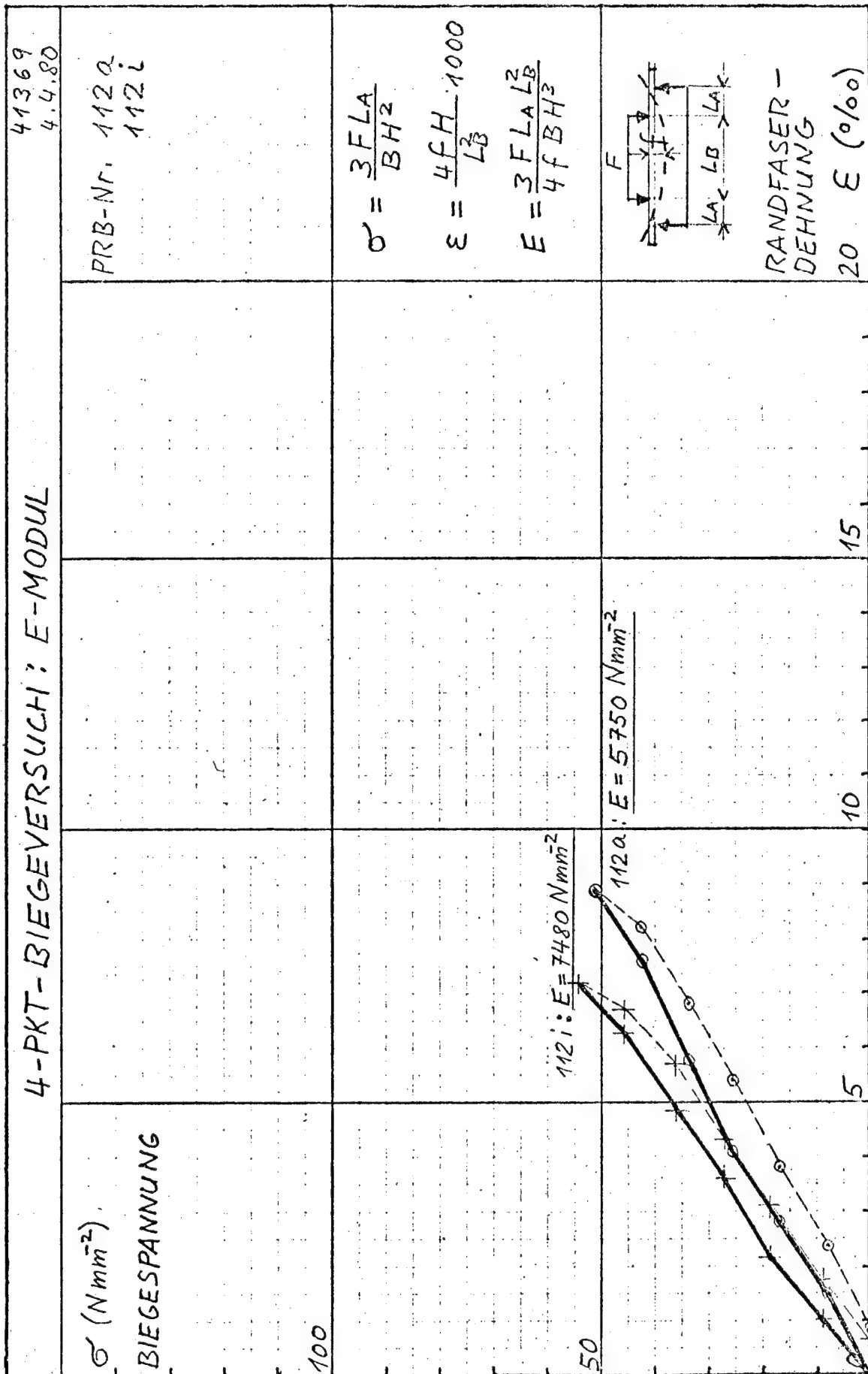
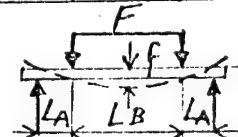
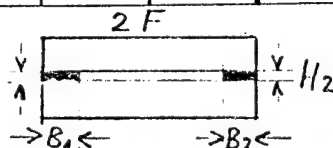


Abb. 2

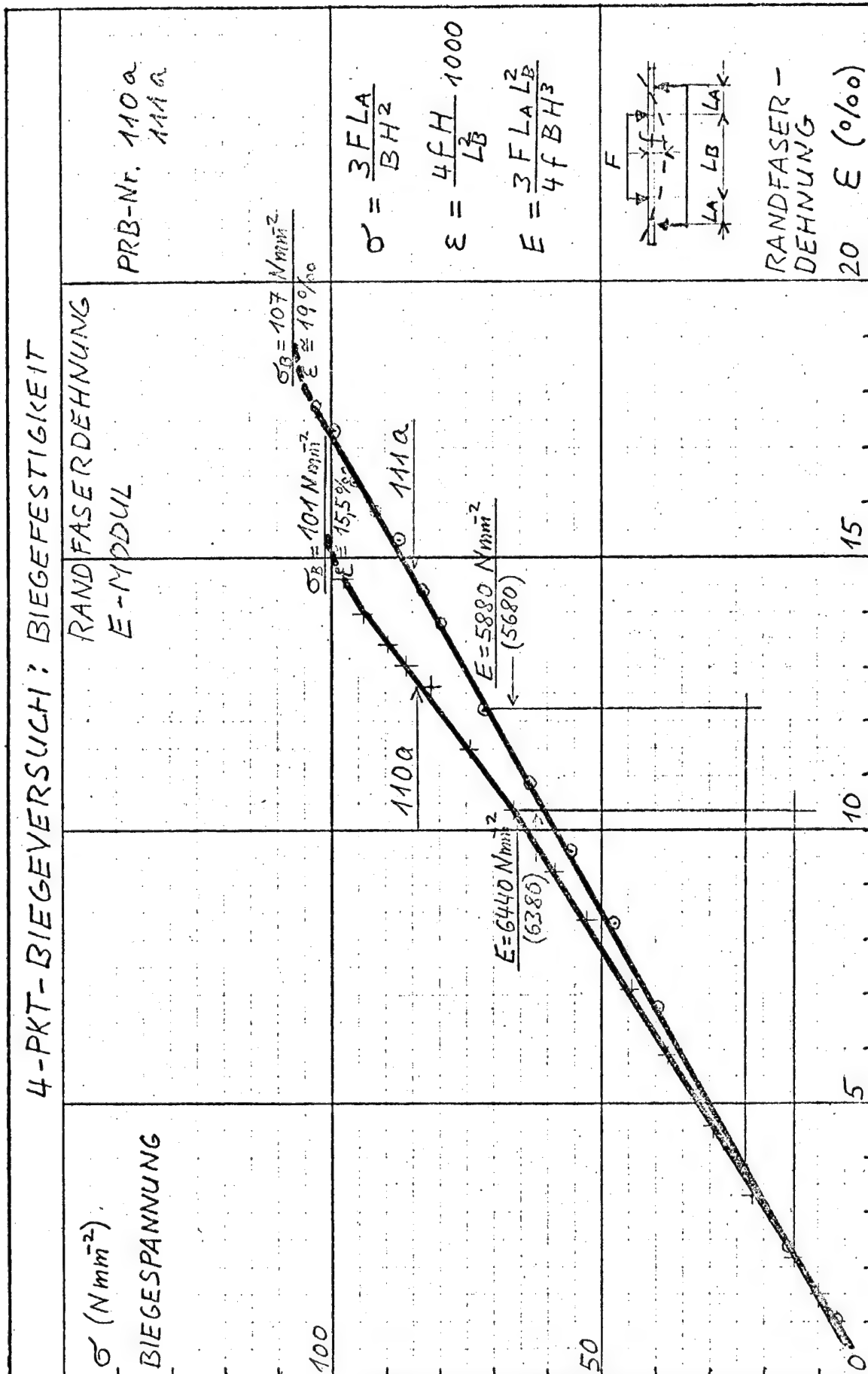
# 4-PKT-BIEGEVERSUCH: BIEGEFESTIGKEIT

$L_A = 39 \text{ mm}$ $L_B = 138 \text{ mm}$		PRB. Nr. 110a				PRB. Nr. 111a			
		$B_1 = 30,5 \text{ mm}$ $H_1 = 7,1 \text{ mm}$				$B_2 = 30,3 \text{ mm}$ $H_2 = 6,9 \text{ mm}$			
DAT. ZEIT	2F kg 1)	$f_1$ mm	$\sigma$ $\text{Nmm}^{-2}$	$E$ $\text{Nmm}^{-2}$	$\epsilon$ ‰	$f_2$ mm	$\sigma$ $\text{Nmm}^{-2}$	$E$ $\text{Nmm}^{-2}$	$\epsilon$ ‰
9,00	1	50,3				50,4			
.04	20	51,0	7,5	7151	1,0	51,1	8,0	7043	1,0
.06	40	51,8	14,9	6674	2,2	52,0	15,9	6862	2,3
.08	60	52,5	22,4	6826	3,3	53,0	23,9	6334	3,8
.10	80	53,3	29,9	6674	4,5	54,0	31,8	6100	5,2
.12	100	54,2	37,3	6418	5,8	55,1	39,8	5840	6,8
.14	120	55,0	44,8	6390	7,0	56,1	47,7	5779	8,3
.16	140	55,9	52,3	6257	8,4	57,0	55,7	5823	9,6
.18	160	56,5	59,7	6459	9,3	57,9	63,7	5856	10,9
.20	180	57,3	67,2	6436	10,4	58,8	71,6	5882	12,2
.22	200	58,0	74,7	6501	11,5	59,9	79,6	5779	13,8
.23	210	58,4	78,4	6489	12,1	60,3	83,5	5823	14,4
.24	220	58,8	82,1	6478	12,7	61,0	87,5	5697	15,4
.25	236	59,0	88,9	6617	13,0	61,2	91,5	5846	15,7
.26	240	59,3	89,6	6674	13,4	61,7	95,5	5830	16,4
.27	250	59,6	93,3	6728	13,9	62,3	99,5	5767	17,3
.28	260	60,1	97,1	6640	14,6	62,6	103	5850	17,7
.29	270	BRUCH	101	—	—	BRUCH	107		

1) 1 kg Masse = 2 F  
 = 4,91 N Kraft / Probe



Tab. 2





## 5. ZEITSTAND-BIEGEVERSUCH

Aus der schon erwähnten Problematik ist erkennbar, dass es (noch) keinen genormten Biegekriechversuch gibt. Die den genormten Kurzzeit-Biegeversuchen für den Probenquerschnitt zugrunde gelegte lineare Spannungsverteilung ist infolge plastischer Verformungen im Biegekriechversuch nicht mehr gewährleistet.

Gegenüber dem Zeitstand-Zugversuch nach DIN 53'444 (4) ist der Zeitstand-Zugversuch ein Kompromiss, der nur durch seine Einfachheit gerechtfertigt ist. Auch hier gilt die Einschränkung, dass nur die unter gleichen Versuchsbedingungen gewonnene Ergebnisse miteinander verglichen werden können.

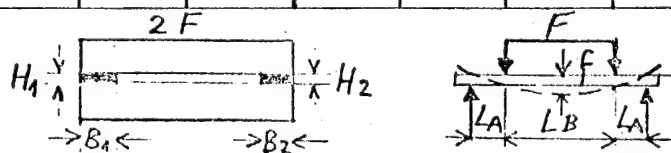
Mit der beschriebenen Vorrichtung kann immerhin das für ein gegebenes Material charakteristische Kriechverhalten zu den eingangs erwähnten Zwecken der Dimensionierung und Qualitätskontrolle ermittelt werden. Im besondern ist bei ungenügend ausgehärteten Duromeren ein stärkeres Kriechen zu erwarten.

Im einfachsten Falle belastet man einige gleiche Proben mit etwa 50 % der Kurzzeit-Bruchlast und misst die Durchbiegung erstmals unmittelbar nach Auflegen des letzten Belastungsgewichts. Man kann auch im Anschluss an den E-Modulversuch direkt mit dem Kriechversuch beginnen.

Die zeitabhängige Verformung wird in der Regel in dekadischen Zeitabständen ermittelt. Man misst die Durchbiegung z. B. nach 10 Minuten, dann nach 100, 1'000 (17 Stunden) und 10'000 Minuten (7 Tage), gerechnet ab der Anfangsmessung. Die dekadischen Zeitabstände erleichtern die graphische Darstellung im logarithmischen Zeitmassstab. Steht ein Zeichenpapier mit logarithmischer Feinteilung zur Verfügung, ist es ohne Bedeutung, in welchen Abständen die Ablesungen erfolgen. Die Beurteilung des Kriechverhaltens ist nur mit Hilfe von graphischen Darstellungen möglich. Es empfiehlt sich deshalb, in allen Fällen entweder das Zeitdehnlinsen- oder das Kriechmodul-Diagramm zu erstellen. Will man das Kriechverhalten eines bestimmten Materials gründlicher ermitteln, kann man mit mehreren verschiedenen Laststufen Parallelversuche durchführen und so alle Daten gewinnen, die für das isochrone Spannungs-Dehnungs-Diagramm und das Zeitstand-Schaubild benötigt werden. Einzelheiten hierüber sind aus der DIN 53'444 ersichtlich. In Abweichung von dieser Norm empfiehlt es sich, die Zeitdehnlinsen und die Kriechmodullinien nur im logarithmischen Zeitmassstab und die Mess- oder Rechenwerte linear aufzutragen.

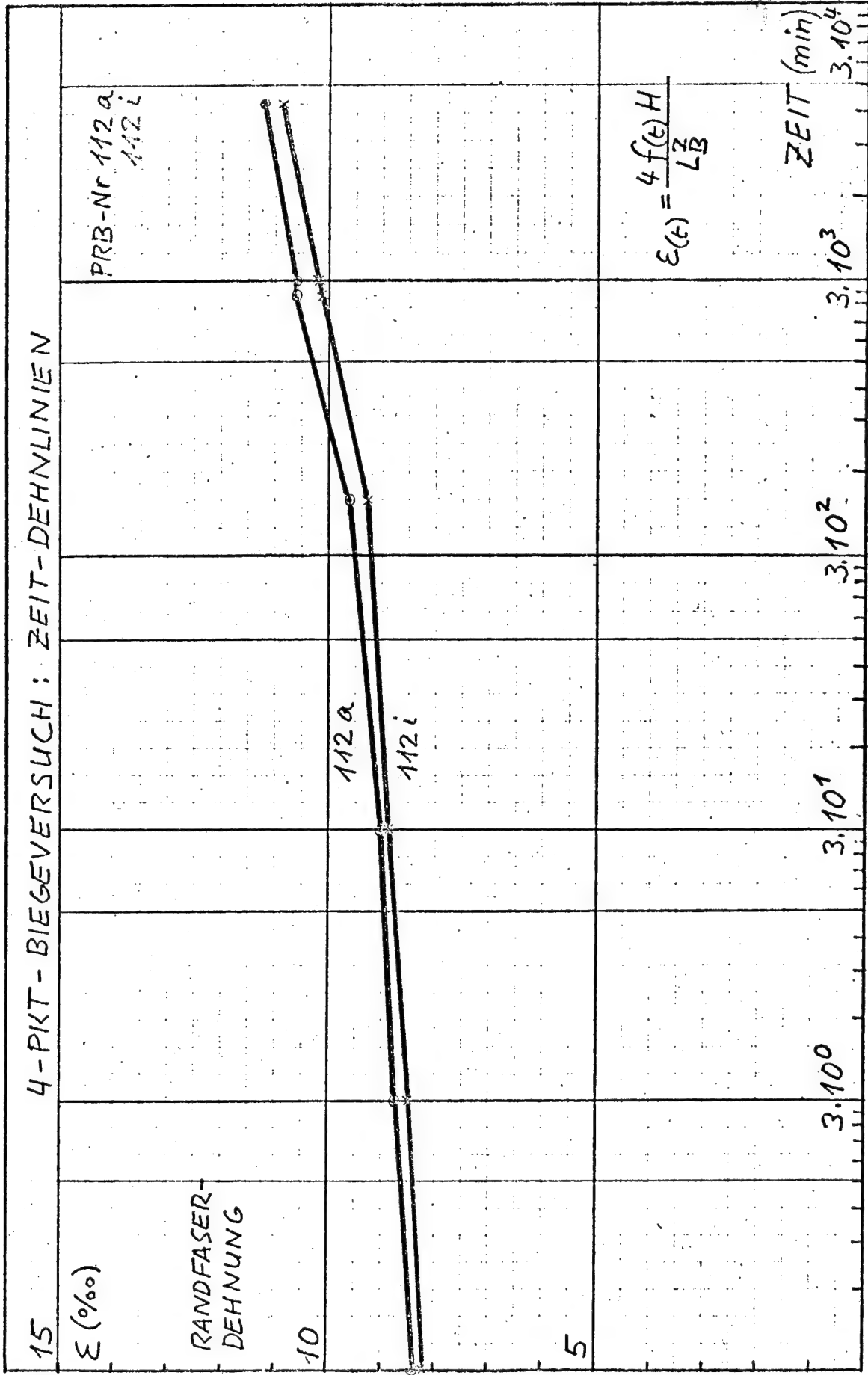
Die zugehörigen Auswerteformeln werden in Abschnitt 6 gegeben.

## 4-PKT-BIEGEVERSUCH: ZEITSTAND

[illegible]

Tab. 3

# 4-PKT - BIEGEVERSUCH: ZEIT-DEHNLINIEN



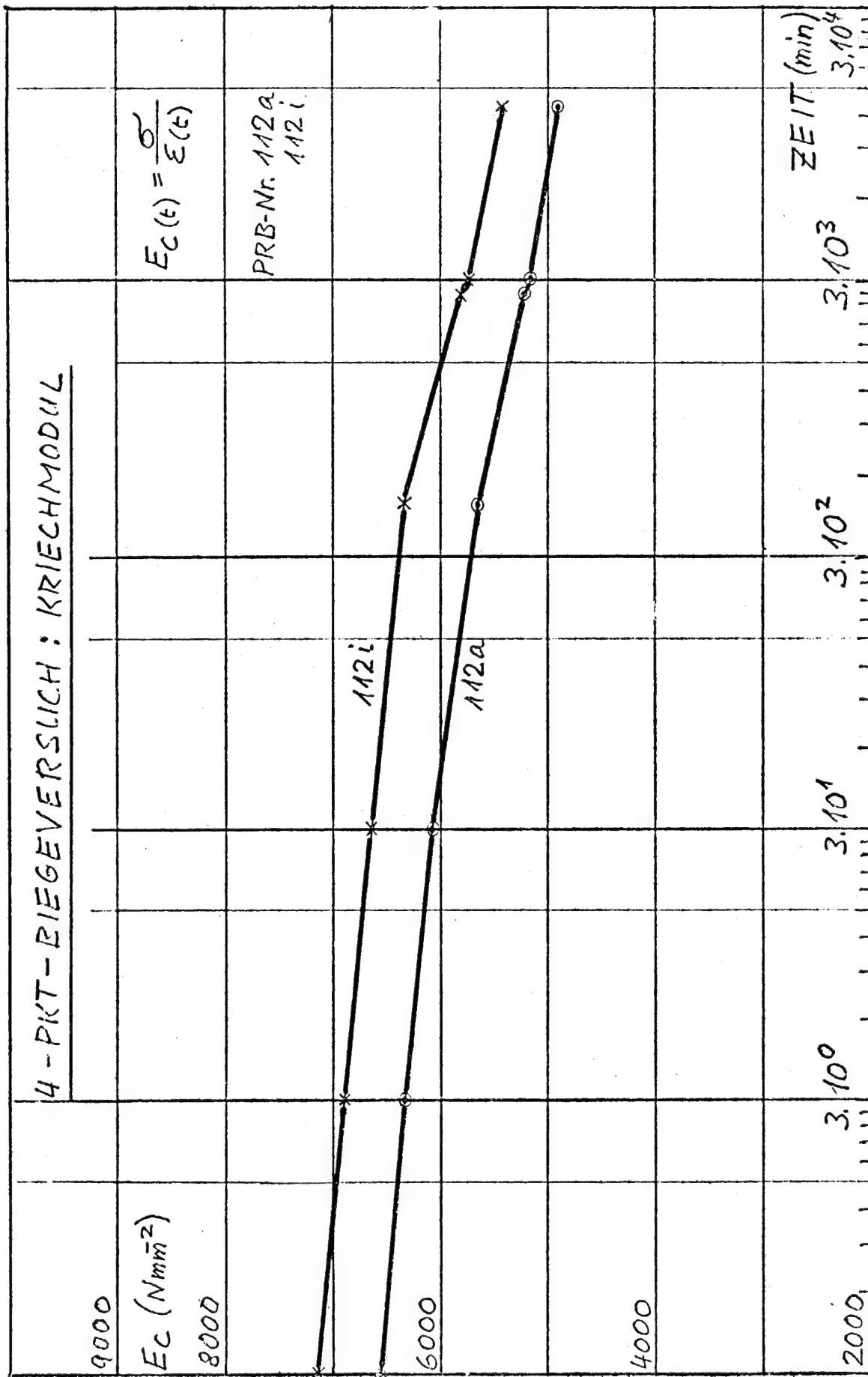


Abb. 5

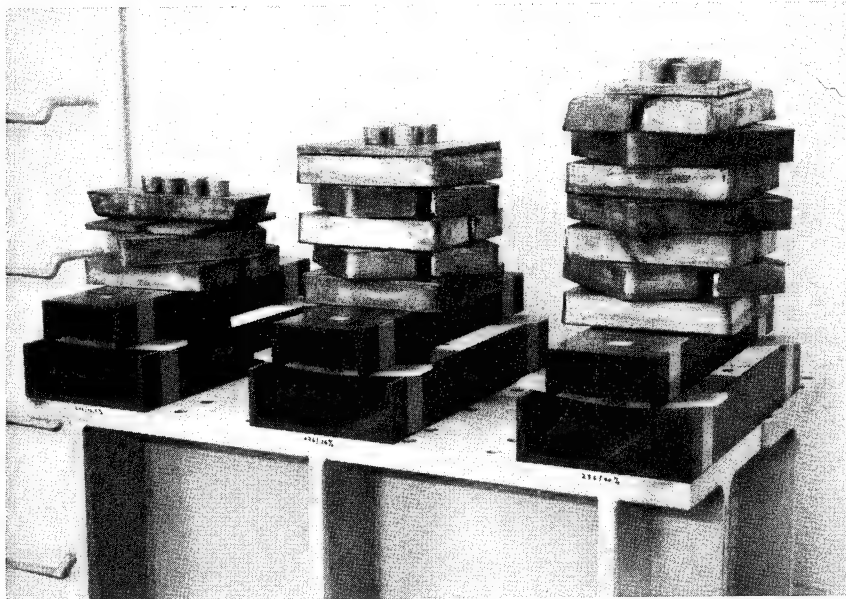
Als Beispiel werden in der Tabelle 3 die Zeitstandsmessungen für dieselben zwei Proben wie beim E-Modulversuch dargestellt. Die Abbildung 4 zeigt die Zeitdehnlinien im logarithmischen Zeitmassstab.

Auf der linearen Abszisse wird die Randfaserdehnung aus der ersten Messung unmittelbar nach dem Auflegen des letzten Belastungsgewichts aufgetragen. Der logarithmische Zeitmassstab mit 3, 30, 300 usw. Minuten wurde für eine Versuchsdauer bis 500 Stunden (21 Tage) gewählt, unter der Annahme, dass sich in diesem Zeitraum, unter einer Last von ca. 50 % der Kurzzeit-Bruchlast, ein ausgeprägtes Kriechen bemerkbar macht. In der Abbildung 5 sind die entsprechenden Kriechmodullinien im gleichen Zeitmassstab dargestellt.

Die Abbildungen 6 bis 8 zeigen drei Belastungsvorrichtungen mit verschiedenen Lasten zur Ermittlung des Kriechverhaltens von drei Paar gleichen GFK-Proben.

Abb. 6

Kriechversuche mit drei verschiedenen Laststufen.



75'060/29

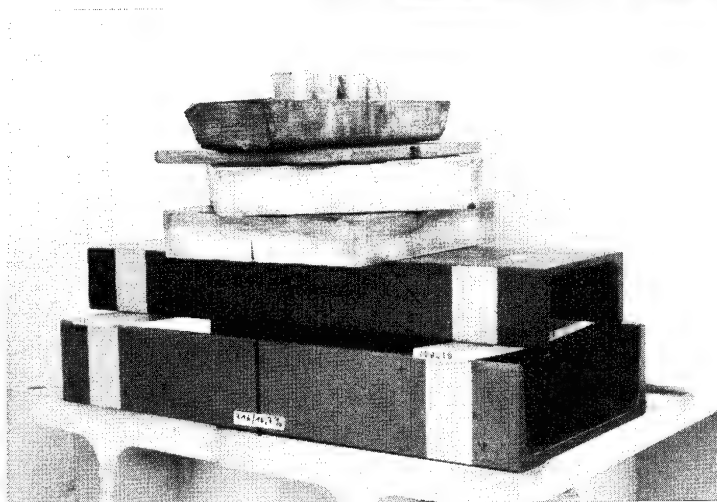


Abb. 7: Seitliche Ansicht.

75'060/33

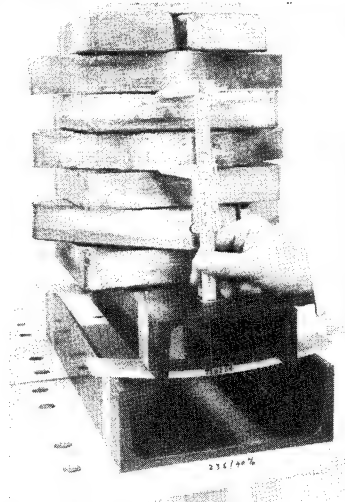


Abb. 8: Messen der Durchbiegung.  
75'060/35

## 6. FORMELN ZUR AUSWERTUNG

Die folgenden Berechnungsformeln zu den beschriebenen Vier-Punkt-Biegeversuchen beruhen auf der klassischen Elastizitätstheorie. Die Herleitung der Formeln kann aus den Lehrbüchern für Festigkeitslehre entnommen werden.

Die Gültigkeit der Berechnung der Randfaserdehnung aus der Krümmungsmessung ist in einer früheren Untersuchung (5) bis 10 ‰ Dehnung belegt worden.

$$\text{Biegespannung:} \quad \sigma = \frac{3 \cdot F \cdot L_A}{B \cdot H^2} \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\text{Randfaserdehnung:} \quad \epsilon = \frac{4 \cdot f \cdot H}{L_B^2} \cdot 1000 \quad (‰)$$

$$\text{Elastizitätsmodul:} \quad E = \frac{\sigma}{\epsilon (‰)} \cdot 1000 \quad (\text{N/mm}^2)$$

oder

$$E = \frac{3 \cdot F \cdot L_A \cdot L_B^2}{4 \cdot f \cdot B \cdot H^3} \quad (\text{N/mm}^2)$$

Hierbei gelten:

F: 1/2 des Gewichts für 2 Proben in N (1 N = 0,102 kg)

L<sub>A</sub>: Abstand zwischen äusserem und innerem Auflager

L<sub>B</sub>: Spannweite der inneren Auflager, zugleich Spannweite für die Durchbiegungsmessung

f: Durchbiegung

B: Breite der Proben

H: Höhe der Proben (möglichst genaue Messung)

Alle Längenmasse sind in mm angegeben.

Schliesslich sei noch auf eine Untersuchung von Franken et al. (6) hingewiesen, nach welcher der abgekürzte Zeitstand-Biegeversuch zur Charakterisierung des Aushärtezustandes von GFK-Bauteilen hinsichtlich mechanischer Eigenschaften gut geeignet ist.

## L i t e r a t u r

- (1) DIN 53'457 (Mai 1968), "Bestimmung des Elastizitätsmoduls im Zug-, Druck- und Biegeversuch".
- (2) DIN 53'452 (April 1977), "Biegeversuch".
- (3) ISO 178 - 1975, "Determination of flexural properties of rigid plastics"; entspricht DIN-EN 63, "Glasfaserverstärkte Kunststoffe - Biegeversuch, Drei-Punkt-Verfahren".
- (4) DIN 53'444 (April 1968), "Zeitstand-Zugversuch".
- (5) Müller R., "Die Randfaserdehnung von GF-UP-Mattenlaminaten in Abhängigkeit der Krümmung im Biegekriechversuch". 14. AVK-Tagung Okt. 1977 in Freudenstadt.
- (6) Franken H.W. et.al., "Einfluss des Aushärtegrades auf GFK-Bauteile", Nov. 1978. Bericht des Süddeutschen Kunststoffzentrums (SKZ), Würzburg.

EXTREME LEICHTBAUWEISE FÜR GFK, SYSTEME UNIPORT (CH PATENT)

LEIGHTWEIGHT CONSTRUCTION FOR GRP, THE UNIPORT SYSTEM (CH PATENT)

Mr. Th. HIRZEL, Head of Uniport  
Rudolfstetten, Switzerland

ZUSAMMENFASSUNG

Materialsparende, selbsttragende Leichtbauweise mit enormer Festigkeit, besonders geeignet für Fahrzeugbau (Anhänger), Container, Formen für Eternitverarbeitung und Bausektor.

SUMMARY

Economical, self-supporting, lightweight construction very stable, specially designed for the construction of vehicles (trailers), containers, molds for asbestos board and the building trade.



EXTREME LEICHTBAUWEISE FUER GFK, SYSTEM UNIPORT (CH Patent)

Theodor Hirzel, Head of Uniport

UNIPORT

Th. Hirzel,

CH-8964 Rudolfstetten, Suisse

## 1. EINLEITUNG

Die Technik der Doppelschalenbauweise wurde von Theodor Hirzel, Besitzer und Direktor der Firma Uniport in Rudolfstetten erfunden. Diese Bauweise ist unter der Nummer CH 458518 in der Schweiz und unter PV O/ 162096 in Belgien patentiert.

Diese neuartige Technik ermöglicht die Fabrikation sehr stabiler, leichter Strukturen in einer einfachen Bauweise, welche materialsparend und kostengünstig ist. Verschiedene Produkte werden bereits in Serie hergestellt, wie z.B. im Fahrzeugbau, Containerbau sowie in der Herstellung von Industrieformen und Elementen für die Bauindustrie. Diese Anwendungsgebiete konnten nur deshalb erschlossen werden, weil Uniport Suisse sehr kleine Toleranzen sowie einen perfekten Finish garantieren kann.

Die Doppelschalenbauweise ermöglicht erstmals eine Fabrikation ohne den bekannten und nachteiligen Verzug der GFK-Schalen.

Eine problemlose Serienproduktion ist nur deshalb möglich.

## 2. NOPPENSTRUKTUR

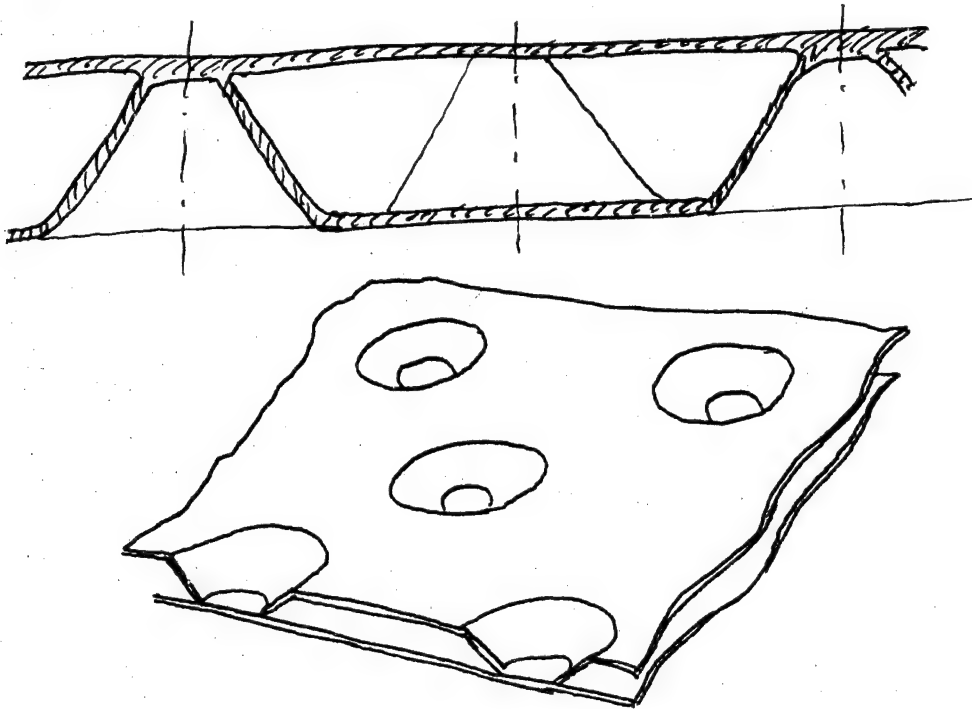
### 2.1. Schwerpunkte

Die leichte Doppelschalenbauweise in Noppenstruktur ermöglicht die Herstellung von Produkten in einem Arbeitsgang. Diese Technik ist ein wahrer Durchbruch im GFK-Sektor:

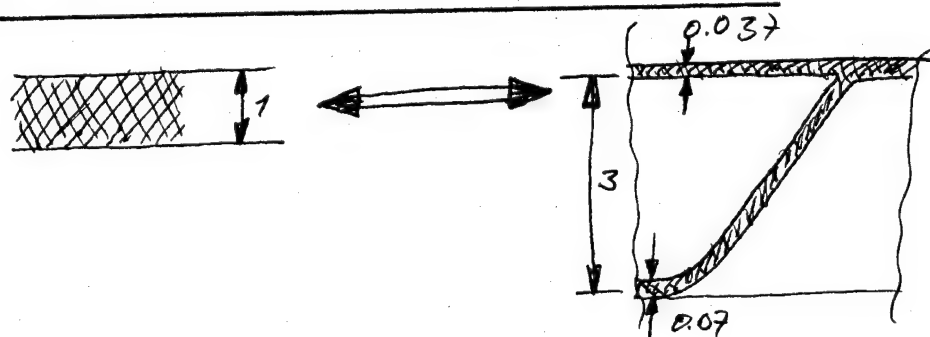
- Kostengünstiger als jede andere Sandwich-Konstruktion.
- Perfekter und problemloser Finish.
- Kleineres Gewicht, höhere Verwindungsfestigkeit.
- Keine materialfremde Verstärkung notwendig (selbsttragende Konstruktion).

## 2.2. Beschreibung der Struktur

Die Noppen verbinden die beiden Schalen und gewährleisten die hohe Festigkeit.



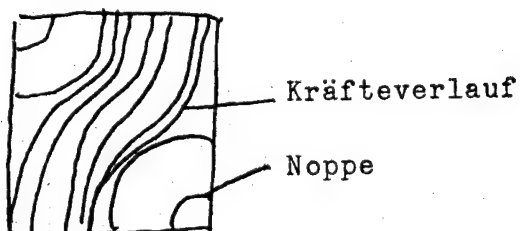
## 2.3. Vergleich der Einwandbauweise mit der Doppelschalenbauweise:



$$\text{Masse} / \text{Area} = 1$$

$$\text{Masse} / \text{Area} = 0.11$$

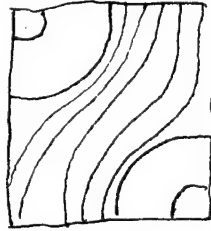
Gewichtsreduktion um den Faktor 9.47 !



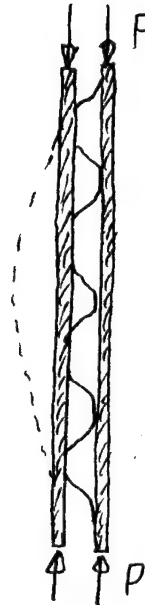
Der Druckkonzentrationsfaktor beträgt bei einwirkenden Kräften maximal 2,43.

Die Doppelschalenbauweise erlaubt eine Materialeinsparung von 82,3% !

Die Verwindungsfestigkeit der Doppelschalenbauweise ist verglichen mit einer einfachen Schalenkonstruktion, entschieden höher.



sehr kleiner Druck und trotzdem nur eine kleine Verwindungssteifigkeit.



sehr hoher Druck und eine hohe aus der Doppelschalenbauweise resultierende Verwindungsfestigkeit.

### 3. HERSTELLUNGSPROZESS - FORMENBAU IN DOPPELSCHALENBAUWEISE:

- Modellierung der Form
- Abguss des Modells  
(Araldit 414, 130° C Beständigkeit, Ciba AG, Basel)
- Niedrige Formenkosten (ca. 20% der Stahlformen)
- Gute Styrolbeständigkeit
- Einsatz von Gelcoat-Spritzanlage, Faserspritzanlage, Mattenauflegeverfahren.
- Schonende Entformbarkeit.
- Wenig Nacharbeit.
- Handarbeit nur noch ungefähr 40%.
- Minime Toleranzen, problemloser Finish.

### S E R I E N P R O D U K T E :

#### 3.1. UNI-PORT WARENTRANSPORTANHÄNGER mit selbsttragender Polyesterkarrosserie

- Eigengewicht ca. 220 kg.  
(18% des Gesamtgewichtes bei Vollast)  
Inhalt 1.3 m<sup>3</sup>
- sehr hohe Wirtschaftlichkeit  
(Treibstoffpreise der Zugfahrzeuge)
- Zweckmässiges Design, Einfärbung nach Wunsch.
- Deckel als Boot verwendbar (Gewicht 26 kg.)



### 3.2. CONTAINER

- Eigengewicht 62 kg. ( 50 % des Metallcontainers).
- Chemikalienresistente Innenseite.
- Einsatzgebiete: Chemiewerke, Spitäler usw.  
(Problemlose Reinigung, Hygiene).



### 3.3. FORMEN FÜR ETERNITVERARBEITUNG

(Eternit Company CH-8867 Niederurnen, Suisse)

- Länge der Formen: 2800 mm, Abwicklung 600 mm.
- Gewichtsreduktion um 82% gegenüber der konventionellen Form.
- Selbsttragend, alkalibeständig, sehr hohe Masshaltigkeit (minime Toleranzen).
- Arbeitsphysiologische Vorteile: Intensivierung des HP, Reduktion der Herstellungskosten.

PRODUKTION VON STRANGGEZOGENEN GFK - PROFILEN UND ANWENDUNGEN  
SOLCHER PROFILE.

GRP-PROFILES BY PULTRUSION AND THEIR END USES.

Mr. Günther WINDISCH

Manager

Faserplastik Kunststoffe G.m.b.H. & Co. KG, Wien, Austria

ZUSAMMENFASSUNG

Die Anwendungsgebiete von glasfaserverstärkten Kunststoffen sind allgemein bekannt. GFK hat konventionelle Werkstoffe jedoch nicht nur in diesen, weitgehend bekannten Anwendungsgebieten, sondern in zunehmendem Masse bei einer breiten Reihe weiterer Produkte substituiert. Es wurden neue Technologien entwickelt, um den steigenden Bedarf und den besonderen Qualitätsansprüchen zu decken. Wir zum Beispiel, verwenden bei der Produktion von stranggezogenen GFK-Profilen eine Hochfrequenz-Vorhärtung, vorallem um den technischen Forderungen nach erhöhten elektrischen Werten (z.B. Durchschlagsfestigkeit) durch Erreichen von homogenen Profilquerschnitten zu entsprechen. Ausserdem wurde von uns eine Produktionsmethode entwickelt, die es erlaubt, komplizierte Profilkonfigurationen bei gleichzeitiger Senkung von Produktionsanlagenkosten zu erzeugen.

SUMMARY

Generally known is the application of fibre-glass reinforced plastic for already traditional purposes. But fibre-glass reinforced plastics have substituted conventional materials not only in these applications. The same substitution now takes place on a far broader range of different products. Alternative methods of production have been developed to meet the growing but also diversified demand. We use a high frequency hastering system that specially fits the demand for a continuous pultrusion-operated and highly precise production of profiles of all kinds with a flow-free and homogeneous quality across the whole diameter. This is of special importance namely for the electrical characteristics (dielectric strength) of the material. Moreover we developed a refined method for production, that enables to produce a variety of very intricate profiles while cutting down the expenses for machinery.

Complete text not received

## MICROCOMPUTER CONTROLLED FILAMENT WINDER

Mr. Jeffrey F. KOBER

Sales Manager

McClean Anderson, Inc., Milwaukee, WI, USA

### SUMMARY

The filament winding industry is gaining reputation as an efficient and economic composite processing technique over years past, mainly due to recent innovations in fiber placement capabilities of filament winding machinery. More and more product design engineers are finding the filament winding machines of today tremendous aids in their composite development work using glass, carbon fiber and Kevlar. This paper will describe the overall fiber placement capabilities of a standard microcomputer controlled filament winding machine and it will demonstrate this capability by showing actual mandrels being wound. A full description of how the fiber placement program is generated using the microcomputer in both linear and non-linear winding modes is given. Most complex filament wound composites of today require a filament winding machine with crossfeed motion which can keep the fiber band, being delivered to the mandrel, equidistant from the mandrel regardless of mandrel complexity. The crossfeed motion will be discussed and demonstrated. Another machine motion that filament wound products are using more and more is that of the rotating delivery eye which keeps the fiber band flat on sophisticated mandrel surface changes. A discussion of the rotating eye feature will go into specific detail to show design engineers this new fiber placement motion.

## INTRODUCTION

The intent of this paper is to stimulate new thinking toward the creative utilization of a microcomputer controlled filament winding machine. Complex wound products are demanding continuous fiber placement machinery for the years ahead and the concepts presented here are intended to meet the challenge.

The reinforced plastics industry is experiencing a great deal of growth in the aerospace and automotive sectors. Widespread attention is being given to the high strength-to-weight ratio end products, and filament winding is emerging as an excellent continuous fiber placement process. The range of possible end products wound on a microcomputer controlled filament winding machine is broadened by the unique capabilities of the machinery presented here.

## MICROCOMPUTER CONTROLLED FILAMENT WINDING

Filament winding is a reinforced plastic process that employs a series of continuous resin impregnated fibers applied to a rotating mandrel in a predetermined geometrical relationship under controlled tension. In the past, machinery used to place continuous reinforcements onto the rotating mandrel was mechanical in design. The relationship between the rotating spindle shaft and the traversing carriage was changed to affect varying wind angles. Because the filament winding machines of the past were mechanical, longhand gear ratio calculations, actual machine gear set-up, and multi-angle laminates required a great amount of time. The microcomputer controlled filament winding machines of the present allow for an entirely new approach to filament winding, saving a great amount of time.

The microcomputer controlled filament winding machines are programmable in both linear and non-linear modes. That is, the relationship between spindle rotation and carriage traverse can be linear or non-linear functions if plotted. Fiber placement is greatly aided by the use of a programmable servo crossfeed and rotating fiber delivery payout eye. In Figure 1, multi-axis machine motion is shown. The spindle axis, which can rotate in a clockwise or counterclockwise direction, is the independent axis of motion. While the mandrel is rotating, a carriage would translate parallel to the spindle axis. For additional fiber placement capability, a crossfeed translation, normal to the centerline of the spindle is available as well as a rotation about the axis of crossfeed translation. These machine motions are available to the design engineer so precise fiber band placement can be accomplished.

In Photo 1 a typical microcomputer controlled filament winding machine is shown. The machine has an independent mandrel and carriage drive. The operator can control the machine at a pushbutton station mounted on the mandrel drive cabinet. The microcomputer control (see Photo 3) is also mounted on the mandrel drive cabinet for fiber placement programming. The carriage runs the length of the machine, and mounted on the carriage itself, is the entire programmable servo crossfeed and rotating delivery eye housing. The closed loop control system utilizes encoder feedback to tell the microcomputer where each axis of machine motion is with respect to the independent spindle axis. Throughout the winding, precise fiber patterns are maintained with a high degree of accuracy. The entire machine described here utilizes DC (direct



current) electric motors.

The microcomputer controlled filament winding machine described above is considered a classical type. The classical type filament winding machine is hereby defined as a rotating fixed mandrel with a translating carriage.

Another version of the microcomputer controlled filament winding machine is the oscillating mandrel type. The sketch in Figure 2 shows the machine motions of an oscillating mandrel type machine. This version has a fixed fiber delivery ring depositing filaments from a 360 degree range. While the delivery ring remains stationary, the mandrel rotates and traverses through the ring. Variations of this machinery allow the reinforced plastics industry to use true hybrid composite manufacturing techniques at high volume rates.

#### USING THE MACHINE AND THE MICROCOMPUTER FOR ACCURATE FIBER PATTERNS

Three winding configurations will be presented here to demonstrate programming technique, fiber placement capability and the two types of microcomputer controlled filament winding machines.

#### Conical Section Multi-Axis Filament Winding

For many product applications, conical sections are of interest. The demonstration presented used a wooden mandrel with a 25.4 mm (1.0 in.) diameter at the small end, 266.7 mm (10.5 in.) diameter at the large end of the cone and the overall length was 457.2 mm (18 in.). The shape was a straight taper. In actual winding applications, this shape could be a rocket exit cone, or it could be expanded and re-shaped into an automotive bell housing.

This fiber placement requirement would be a non-linear winding. After a design decision has been made, a fiber path would be determined. The design engineer could then plot one fiber circuit onto the conical mandrel mounted in the machine.

One fiber circuit would be defined as one complete cycle of carriage motion. With the use of a non-linear programming box, the machine operator would have complete control of the carriage, crossfeed and rotating delivery eye for precise fiber placement. The first action the operator would take to program the non-linear fiber path would be to make the microcomputer aware of the recording to be made. The operator would address the keyboard in Photo 3 and would key CN for carriage non-linear. The computer would then ask for the number of circuits the operator wishes to have the fiber path repeated, and it also requests the operator to input an accuracy factor for the recording. The computer also finishes the brief sequence prior to winding by asking the operator if the mandrel should rotate clockwise or counterclockwise. The operator holds a non-linear programming box (hereafter defined as joystick, see Figure 3) and uses the pushbutton station to begin to rotate the mandrel very slowly. After the operator has a comfortable mandrel rotation underway, the carriage is activated by depressing the carriage axis pushbutton on the pushbutton station. With the fiber band attached to the rotating cone shape mandrel, the operator then varies the carriage velocity, with respect to constant mandrel rotation, to deposit the fiber band precisely onto the plotted fiber path. As the velocity of the carriage

changes, the microcomputer, with its pre-programmed accuracy factor, records the position of the encoder mounted on the carriage drive motor. In this manner any fiber pattern can be programmed for advanced composite design.

After the recording has been made for one fiber circuit, the computer will display a "enter switch no." command on the cathode ray tube (CRT). The operator then assigns an identification number from 1 to 99 to lock this pre-recorded fiber path into the on-board memory. This program could be modified, using various commands, for larger bandwidths, point to point smoothing, or mandrel speed variations.

To run the non-linear program, the operator would first dial in the proper set-up select switches above the CRT (see Photo 3) corresponding to the indentifying set-up number. The operator then would key a reset pushbutton, and then a run pushbutton. At this point the winding would begin.

The joystick programming technique has a distinct advantage of quick fiber placement with relatively simple input to the microcomputer. However, where highly critical fiber placement is required, such as aerospace applications, the joystick method only allows accuracies achieved with the skills of the machine operator. To aid these special cases, where continuous fiber paths are critical, a design engineer could interface a point to point predetermined fiber path with the microcomputer presented. This would then eliminate the joystick programming process, and the non-linear carriage motions would be directly loaded into computer memory from another remote intelligent source.

The conical section shown in Photo 2 has a bandwidth that actually becomes wider as the fiber path approaches the largest end of the cone. By programming the rotating fiber payout eye to direct the fiber band, the operator could actually vary the fiber bandwidth. The programming method to actually widen the fiber band would make use of the previously described joystick method. The rotating fiber payout axis has 3.67 radians (210 degrees) of rotational deflection about the crossfeed translation axis.

In a non-linear mode of operation, the classical microcomputer controlled filament winding machine can wind very complex geometries. The crossfeed and rotating fiber payout eye can be designed to mount onto the floor mounted carriage bed, or the same motion may mount on an overhead carriage as shown partially in Photo 2. A variation of the overhead crossfeed and rotating fiber payout eye is shown in an entire machine configuration in Photo 4.

#### Complex Pipe Shapes

Not all filament winding applications require sophisticated multi-axis machine motion. Pipe shapes, considered to be the basics in filament winding, are wound with microcomputer controlled machine motion as well. For the purpose of demonstration, a pipe 762 mm (30 in.) in diameter, 6.10 mm (20 ft.) in length will be discussed. It will be assumed that the pipe will be comprised of two layers of surface mat, two layers of 54.75 degree helix, and a finish layer of circumferential. At the end of the winding it is also assumed that a dwell of one fiber band is required 101.6 mm (4 in.) in from one end of the pipe. A bandwidth of 165.1 mm (6.5 in.) is required during the winding.

The microcomputer controlled filament winding machine required for this pipe winding would be a single axis unit, that is, a mandrel drive and a translating carriage controlled by a microcomputer. The machine motion for the winding is all linear motion which can be programmed on the keyboard shown in Photo 3. The surface mat could be applied with an auxiliary function control available to the operator. A roll of surface mat mounted on a delivery head, also fixed to the carriage, could be commanded to drop down on the rotating mandrel at a precise time in the early stages of the winding. Again, using auxiliary function control (110 volt on-off signals available to the programmer anytime during a winding sequence) the microcomputer could activate a resin spray gun mounted on the carriage. The operator could program the resin impregnation gun to energize and de-energize as needed during the application of the surface mat. To program the 54.75 helix, circumferential, and dwell fiber patterns, the operator would address the keyboard directly. The two letter identifier command for the helix would be "PE". The operator, upon keying "PE", would see all the winding parameters ready for programming on the CRT display. The starting position of the carriage would be programmed as the "H" (mm) position of "home" position. This would precisely position the carriage at the proper starting position, pipe after pipe. An imaginary carriage drive sprocket radius "R" (mm) would be programmed to govern carriage dwell at the turnarounds of the pipe. The operator would then program the diameter "D" (mm) of the mandrel, in this case 762 mm (30 in.). This could also be the mean diameter of the pipe is so desired. The circuits per patterns "C" could also be loaded into the microcomputer. Because it is assuming that two layers of 54.75 degree helix will be needed, the programmer can command the microcomputer to wind two layers by defining "N", number of layers, equal to two. The mandrel drive gear ratio "M" and the desired turnaround "T" in degrees of mandrel rotation must be programmed. By varying the turnaround input, the operator can precisely control the amount of end waste of the finished pipe. This pipe example requires a winding length "L" (mm) of 6096.0 mm (240 in.). The winding angle (measured from the longitudinal centerline of the mandrel) "A" (degrees) is input as 54.75. The bandwidth "W" (mm) would also be keyed into the microcomputer, and for this example, 165.1 mm (6.5 in.) would be a required bandwidth. The true bandwidth is always measured on an axis normal to the edge of the fiber band. The operator has the option of programming a leading or lagging bandwidth for the pipe program.

After all of the 54.75 helix pipe program parameters are loaded into the microcomputer, the operator keys "G" for go, and the microcomputer takes all of the input data, and generates a true winding program. A value for the circuits per layer "Z", the dwell in degrees of mandrel rotation, the actual turnaround in degrees of mandrel rotation, and "C" circuits per pattern will be displayed. A very important updated "W", or true bandwidth, will also appear on the CRT display. It is the operators responsibility to make certain the band of fibers coming from the resin bath agrees with the actual "W". The operator then would key another two letter identifier sequence "AS", for assign, to load the previously programmed helix into a set-up select switch position as previously described.

The circumferential winding program would be programmed by directing the computer to open the internal circumferential "CR" program. In the "CR" program, the operator need to program "H", "M", "W", "N" and "L" to generate a valid winding program. The microcomputer will control the carriage such that for each revolution of the mandrel, the carriage advance equals one bandwidth "W". The operator would also use the "S"

subroutine to hold this circumferential winding program in a set-up select switch position for later recall.

Proper programming techniques must be followed to insure proper fiber placement. A dwell program is also programmed by keying in "DW". On the CRT the dwell program can be generated. The operator must program a location of the carriage during the dwell, in this case the "H" position from the 54.75 degree helix program plus 101.6 mm (4 in.). The operator must also define the number of mandrel revolutions required during the dwell, and "M", mandrel ratio. This dwell program also would be assigned to its own set-up select switch position.

To load this entire pipe winding sequence into the microcomputer for permanent recall during production, a very simple program is called up by still another two letter command. The operator keys the command "CM". The CRT then asks for a set-up select switch to be the input as the first level of machine operation. For this demonstration it is assumed that the surface mat sequence is stored in set-up select switch 10, the 54.75 degree helix is loaded in switch 11, the circumferential is in switch 12 and the dwell is loaded in switch 13. All of these base levels of machine motion can be programmed to run the entire filament wound pipe in proper sequence without gear changes or set-up procedures. One entire set-up select switch could be designated as the 30 inch diameter by 20 foot random pipe section. The machine operator would dial in the proper set-up select switch to run the pipe, and the same pushbutton sequence would be performed to run the winding program, as previously described in the conical section winding.

Some of the major advantages of the microcomputer control for pipe winding machine motion are; increased program sequencing, unlimited fiber angle selections, varying mandrel speeds programmed for each layer, mitre cut marking capability, automatic set-up select for changing product lines from the same machine and uniformity of end products.

#### Oscillating Mandrel Type Machine for Hybrid Composites

The hybrid composites are going to play a very important role in the future of the reinforced plastics industry. Interest in carbon fiber/fiber-glass composites as well as Kevlar combinations show the need for high volume process machinery to process continuous fibers at high speeds. The oscillating mandrel type (OMT) microcomputer controlled filament winding machine is a high production filament winding machine designed for the production of tubular products up to 508.0 mm (20 in.) in diameter. It is capable of the consecutive dispensing of two types of resin impregnated continuous strand reinforcement in layers at pre-programmed winding angles. The machine utilizes 360 degree fiber placement in its fiber delivery systems. This type of fiber delivery reduces end waste, improves product physicals, improves product appearance and achieves higher production rates.

The machine is state of the art. It is equipped with a computerized control system and has a fixed position reinforcement storage and delivery system combined with a moving tooling drive system. In this design the reinforcement, impregnation and delivery system remains stationary while the mandrel is both rotated and longitudinally translated past the delivery system. The machine is equipped with automatic devices for transferring from one reinforcement type to a second, as well as starting and stopping the winding of either reinforcement type. The

machine is also designed for automatic mandrel loading and unloading so that it can be fully integrated as a station in a multi-step manufacturing system.

The advent of computer controlled filament winding equipment such as the OMT gives rise to a number of distinct advantages over conventional equipment. These include the ability to fully automate the filament winding process, fully integrate filament winding as a part of other highly automated manufacturing processes, program an almost infinite variety of winding configurations, produce more highly complex composite structures, to produce product of more consistent quality due to the capability of the equipment to automatically control more areas of the manufacturing process, and produce product at higher production rates due to the greater degree of machine control of the process.

#### FILAMENT WINDING RISING TO THE CHALLENGE

The reinforced plastics industry is truly going to play an important role in the quest for new light weight structures to save energy and to improve product performance. Never before has the need for continuous fiber end products been so great. The advent of the the family of microcomputer controlled filament winding machines presented here provides the design engineer with a new improved fiber placement tool. Both linear and non-linear filament winding patterns are programmed easily and quickly to wind Kevlar, carbon fiber or fiberglass around virtually any shape. The filament winding industry will be a very important group rising to the challenge in the months and years ahead. The world may see an entire jumbo jet fuselage section wound by 1990, and automotive is already deeply involved in filament winding using the microcomputer control presented here. The world of microcomputers and the world of filament winding have just joined to form a very useful reinforced plastics process.

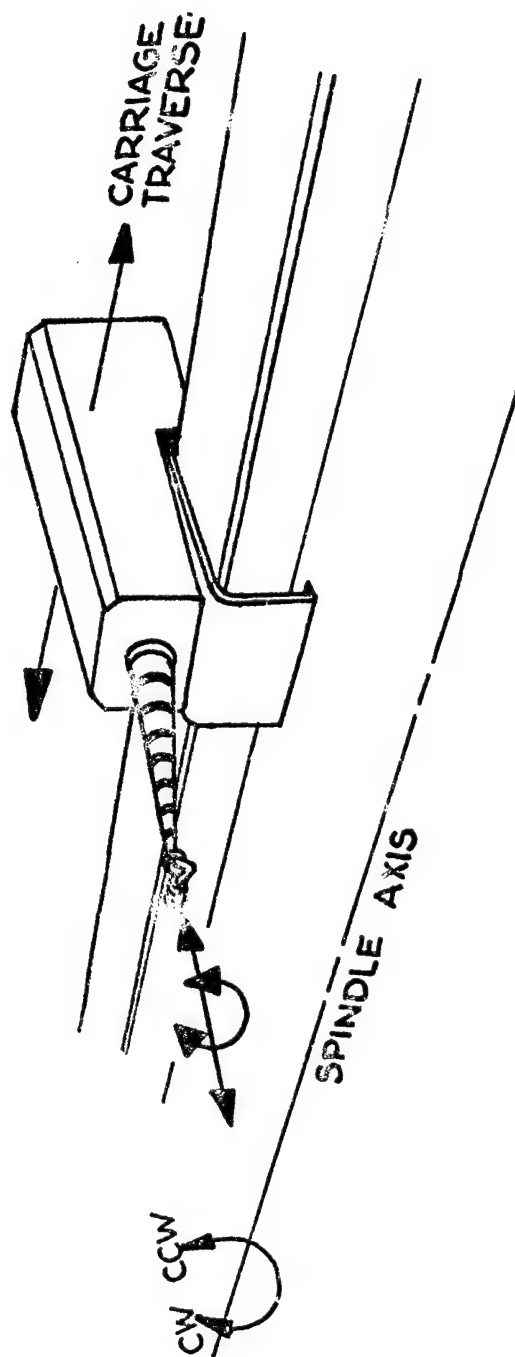


Figure 1

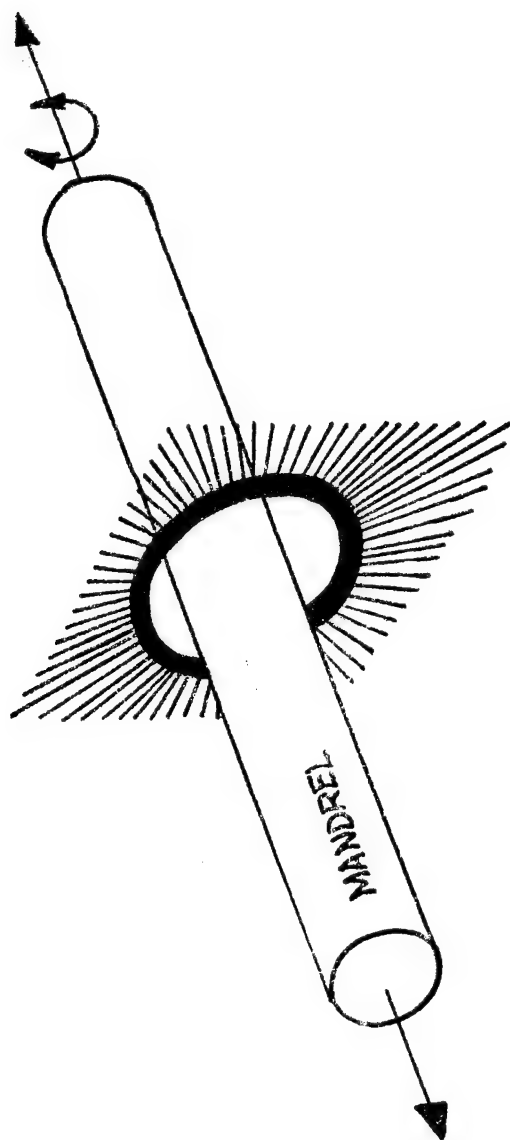


Figure 2  
Oscillating Mandrel Machine Motion

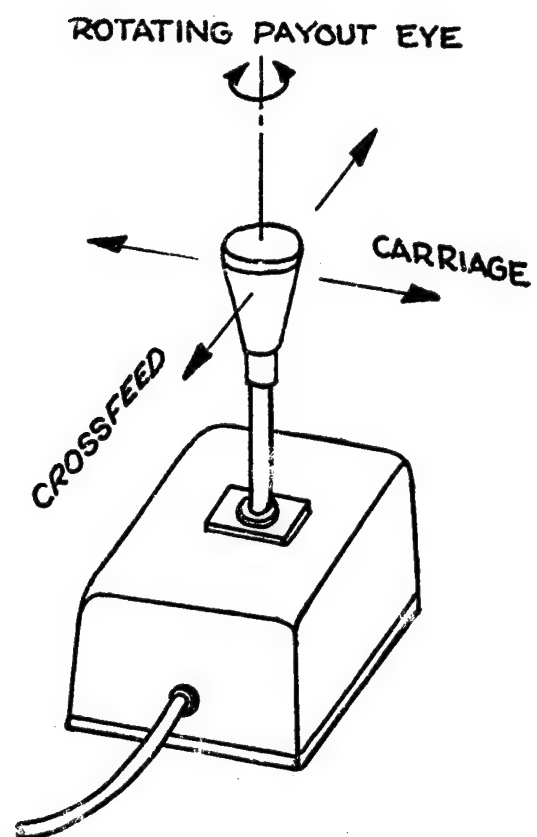


Figure 3  
Non-Linear Programming Box









